Nauky technické.

Od

Dra. Antonína Majera.

O rovnováze.

V Praze.
Tiskem K. Vetterlovské knihtiskárny (A. Renn) u tří lip.
1857.

Předmluva.

Kdyby se dle obecného zvyku v předmluvě vytknouti mělo, pro koho spis tento vlastně jest, musilo by se bohužel odpověditi, že *pro každého*, kdožby se *o praktické fysice v jazyku českém* něčeho dočísti chtěl, poněvadž o mnohých věcech, které v tomto spisu obsaženy jsou, u nás ještě nikdy psáno nebylo. Zvláště mohl by snad přede vším příhodně *Živě* po boku státi a ji směrem svým doplňovati. Dále se domýšlím, že mnohému snažlivému učiteli poskytne látky a světla při vyvinování abstraktních zákonů přírody a souvislosti jejich se životem skutečným, že mnohému bedlivému žákovi bude moci býti zábavou, když nezáživný „Lehrbuch" byl poodložil, a *svědomitému* národnímu učiteli že podá příležitosti, aby se naučiti mohl mluviti o věcech realních *také k mládeži české.*

A konečně, až *rolník* náš, za novější doby rychle dospívající, tak daleko pokročí, aby o strojích, bez nichžto pomalu žádný hospodář se nebude moci obejíti, *také sám přemýšleti počal;*

až se *řemeslník* náš návalem tísní nynější doby tak probudí, aby uznal, že se *od nádeníka téměř ničím neliší*, dokud jen rukama a ne duchem pracuje, a že se z něho teprv tenkráte průmyslník stává, když o své práci *také přemýšleti*, tedy o předmětech k ní náležitých *také čísti* počne;

až *národní učitelé* z prvních elementů vybředou a tak daleko dospějí, že se i s národní literaturou naší v té míře seznámí, aby žákům, vstupujícím do života skutečného, a *rozumnějším* rodičům jejich přiměřené potřebné a užitečné spisy schvalovali, podlé nichž by synové jejich, ze školy vyšlí, ve vzdělání ještě dále pokračovati mohli, aby moralně a materialně nezakrňovali aneb docela nehynuli;

až ve větších obcích našich učitelstvo, vedeno *zvláštní horlivosti, opakovací nedělní školu naši na více tříd rozdělí a učení v ní rozšíří,* aby spořádaný učeník po čas svého učení všecky třídy projíti, a tam *i věcem realním* se přiučiti mohl; *)

*) Jedině tímto prostředkem přišly by *opakovací nedělní školy* k nějaké vážnosti, ano staly by se takořka na mnoha místech teprv *školami*. Posud musí pokročilejší žák vedle začátečníka tři léta i déle sedati, kde ustavičně týmž začátkům, či lépe řečeno, téměř ničemu se neučí; kde se při velkém počtu žáků a tak rozličném stupni vzdělanosti jejich z husta taková kázeň zachovává, která něžnější cit uráží a otupuje. Roztříděním ale připadl by na třídu mnohem menší počet a to *stejně pokročilých žáků*, čímž by se moralní stav školy značně zvýšiti a žáci *i něčemu učiti mohli*. Pro pilného žáka bylo by takové vedení jen spravedlivé a jakýmsi vyznamenáním, pro každého pohnútkou k práci, aby dále postupoval. A jakáž by konečně z toho šla radost učiteli, když by jmenovitě ve vyšší třídě nastávající věkem i rozumem pokročilejší průmyslníky a členy obce o věcech pro skutečný život důležitých v jazyku mateřském poučoval, a při tom s nimi tak nakládati mohl, jak se nakládá se žáky ústavů vyšších! Jak by to žáky povznášelo! Zajisté, žeby do vyšších tříd z horlivosti i mnohý tovaryš ještě docházel; nebo v takto zařízené škole musí konečně každý pokročilejší žák svůj moralní a materialní prospěch viděti. Tam by počínal žák učitele co rádce a dobrodince svého cíti a opravdově si ho vážiti. V posledním roce učil by se rozumným spůsobem sebe samého ovládati a mravně i rozumně se říditi, čehož se *tovaryšům za nynějších časů svrchované nedostává.*

Přede vším bude ovšem povinností každé obce, aby se o zařízení takovéto školy *sama* tak postarala, aby se tam žák také *skutečně něčemu učiti mohl;* neboť jinak co prospěje žáku, kdyby několik let ve škole vyseděl, co prospěje všelijaké nucení a rozličné ty kontroly správ obecních, jako navštěvovací knížečky a p., které nyní do mody přicházejí

až konečně ze *žáků takovýchto opakovacích nedělních škol* občané se stanou, a povinností občana lépe poznávajíce a svědomitě jich uvažujíce školám a tím i sobě knihovny zřizovati budou, aby učitelé, jimž při skrovných příjmech ustavičná studia povinností jsou, potřebné a užitečné vědomosti ze spisů i na mládež vštěpovali;

až se tyto poměry ve vlasti naší tak dalece polepší: pak se chci nadějí kojiti, že spis tento od krajanů mojich s účastenstvím přijat a čítán bude. — Námitka, že by všecko toto ještě příliš daleké bylo, nezdá se býti podstatná; ano kdo uváží pokrok, jaký rolník a jmenovitě *národní učitelstvo* naše v několika letech udělalo, zajisté mi přisvědčí. *Rychle*, řekl bych, skoro *příliš rychle* kráčí svět nynější ku předu!

Že se od našich větších obcí čili *českých měst* v zmíněných ohledech mnoho očekávati nedá, sotva možno popírati. Mnohý řekne: „Vždyť si zařizují tak četně a s takovými obětmi své *realní školy*!“— ano zařizují, ale vědí-li pak také k čemu?— *sotva*, protože od nich žádné *realnosti nežádají ba ani neočekávají*. Proč je tedy zařídily? — skoro by se říci mohlo, že *jen z časové mody*. Slyšme, jak asi rozumuje často mnohý měšťánek náš, když syn jeho do realky vstoupiti má: *„K čemu to potřebuje, půjde na řemeslo.“* — A pravda, který žák škol našich přichází skutečně k řemeslu? — Skoro jen ten, který se z neznámosti jazyka německého na realní školu *ani nedostal*, nebo pro špatné známky přestati musil, kteréž obdržel, buď že schopností neměl, buď že věcem, které se mu německy přednášely, *nerozuměl;* — a to jsou nastávající průmyslníci *českých* měst! Vždyť i učitel v dobromyslnosti své říkává o žáku schopnějším: *„Škoda toho hocha, kdyby těch studií za-*

nechal", k čemuž jen ještě doložiti třeba: „*a řemeslo své v obci zase tak provozoval, jako se již od dávna provozuje.*"

Kde jest tedy účinek realních škol v *městech českých*, kterého *slavné ministerstvo* naše ústavy těmito docíliti obmýšlelo? Jelikož ale zřizování realních škol od *slavného ministerstva* obcím našim *na vůli* se dává, v čem tedy leží příčina, že vydání na tyto školy pro obce naše *tak velké*, užitek z nich ale *tak malý* jest? — Ovšem že jen v obcích.

Dále co se děje od měst našich pro zvelebení nedělních škol, jichžto žáci, a *nikoli* žáci *tak zvaných* realních škol v *českých* městech našich nastávající měšťané jsou, jimiž si tedy město vzdělává budoucí pokolení své? —

Takovéto poměry měst našich, jichž občané realním předmětům se *neučili* a *neučí*, ukazují dostatečně, že literatura technická pro Čechy *velmi důležitá* jest, aby se alespoň důvtipnější řemeslník náš poněkud poučiti a k uvolnění průmyslu, kteréž nás nemine, jakž takž připraviti mohl.

Tím, co o účelu spisu předesláno, vysvětluje se i forma a spůsob, v kterémž se obecenstvu předvádí. Známtě ostatně spůsob tento již ze spisu: Nauky technické. *O spojivosti.* V Praze 1855, kterým jsem začátečníky do praktického studium přírodních věd vůbec uvésti minil.

Konečně musím s vděčností připomenouti svého bývalého žáka Františka Zbirovského ze Sedlce, který se nejen ochotně k rejsování přiložených obrazů propůjčil, nýbrž i umělejí je provedl, než je kniha sama vykazuje.

V Praze na den svatého Jana Nepomuckého 1857.

Spisovatel.

Pojem práce.

1. „*Modli se a pracuj*," jestiť všeobecně známá věta, která hlavní účel a povolání člověka vůbec v sobě obsahuje. Práce jest tedy po modlitbě obecnou povinností a má býti následovně i hlavním zaměstnáním naším. Kdožby se také nesnažil, aby vyplnil tuto povinnost svou co nejsvědomitěji, aby hotovil tedy práce co možná nejvíce a konal ji co nejdokonaleji? A v pravdě obdivovati se musíme onomu vysokému stupni dokonalosti, kterou dosáhla nyní práce v rukou lidských!

Jak známo, rozeznává se práce dvojí: *duševná* a *tělesná*; nám se však zde nejedná než jen o práci tělesnou, ačkoli právě toto pojednání naše prací duševnou jest, která s prací tělesnou vždy spojena býti a ji říditi musí, když se tato dařiti má. — Chceme-li konati práci svou s výsledkem dobrým, jestiť nevyhnutelně zapotřebí, použiti k tomu co možná i všech prostředků, jimiž se práce buď usnadňuje, buď úplněji a dokonaleji provádí, aneb jimiž se nám často jedině možnou stává. A který rozumný pracovník by také nevyhledával přiměřeného náčiní, kterýžby si nevšímal výhodných k své práci nástrojů a nešetřil všech umělých obratů a zručností? — Než chceme-li poznati těchto rozličných pomůcek k práci naší, zapotřebí nám dříve náležitě seznati pravý význam práce samé, poněvadž je tenkráte jen přiměřeně zaříditi a jich výhodně upotřebiti můžeme, když jsme sobě účel jejich náležitě byli objasnili, t. j. když jsme si dobře uvědomili *k čemu* sloužiti mají.

2. *Účel* práce a *pojem* její jest nám tedy především náležitě objasniti; a odtud se namítá hned otázka: *v čem záleží práce?*

Abychom věc tuto snadněji přehlédnouti mohli, představme si obyčejného pracovníka, třeba nádeníka, který známým nám spůsobem uloženou sobě práci koná, na př. kámen neb cihly s vozu na nějaké místo snáší. Přirozeně se hned tázati musíme, zdali práce tato *v cihlách*, zdali v *cestě*, kterou dělník při tom koná, čili *v čase*, ve kterém se to děje, záleží, aneb zdali ji ještě v něčem jiném hledati máme? — Práce nemůže v ničem jiném záležeti, poněvadž to již všecky předměty jsou, na které se dělníci do práce najímají, a dělník sám to také býti nemůže. *Cihly* samy o sobě nemohou ve zmíněném příkladu práci ustanoviti, nebo kdyby dělník i více dní tu s nimi v rukou *stál*, přece nám nenapadne mluviti o práci jeho: ano slýchámeť i napomínati dělníků k práci, když se pozastaví, byť i břemenem obtíženi byli. Z toho jest patrno, že se práce ruší, když se dělník v chůzi *zastavuje*.

A však ani *cesta*, aneb jak se v umělé mluvě říkává, *vykonaná dráha* nemůže stanoviti práci naši; nebo známo, že nikomu nenapadne procházku nazývati prací. Že to ani *čas* čili *doba* sama o sobě býti nemůže, vysvítá již z věci samé.

Považíme-li konečně, že se ve zmíněném příkladu od pracovníka nic jiného nežádá, než aby *cihly s vozu na jiné místo donášel*, vysvítá, že práce, poněvadž ani v cihlách samých ani v cestě samé o sobě neleží, v obou dvou zároveň záležeti musí; tak že tedy práce v příkladu našem nějaká s cihlami vykonaná dráha jest. A v skutku jest také známo, že ten víc práce vykonal, kdož byl *více* cihel na totéž místo odnesl, aneb kdo byl tentýž počet cihel *dále* donesl. Z toho již vysvítá, že *jedním i druhým* práce přibývá, následovně že také oběma jí současně ubývá. Práce se může tedy nade všecku míru zvětšiti, vzroste-li buď počet předmětů těžkých, cihel, aneb vzdálenost jejich od místa, kam se přenášeti mají, nade všecku míru. Naopak ubývá dělníku práce, čím více cihel byl již s vozu snesl, tak že poslední cihlou i práce jeho

zmizí, ačkoli toutéž cestou i ještě dosti dlouho kráčeti může. Také s cestou mizí zponenáhla všecka práce; nebo mají-li se cihly vždy blíže a blíže vozu klásti, stává se tím i práce vždy menší a menší, ažby konečně zcela přestala, kdyby cihly své místo ani měniti neměly. Následovně jen *obé dvé zároveň* vyznačuje práci naši, jen z obou dvou vysvítá teprv velikost její. *Břemeno s dráhou*, kterou se nositi má, *jsou tedy činitelé práce naší.*

Z toho vysvítá, že tyto dva činitele práce především náležitě poznati musíme, abychom velikost její, jakož i výhody upotřebených sil dobře posouditi, k vykonávání daných prací příhodných sil s prospěchem použiti a konečně upotřebeným silám a uložené práci přiměřeného náčiní a výhodných nástrojů čili vůbec strojů použiti a tyto i sobě hotoviti mohli.

Dráha.

A. Jakost dráhy.

3. *Pohybování* předmětů nějakých čili vůbec věcí těžkých jest nutnou podmínkou každé práce. Abychom pohybování vůbec lépe seznali, tázati bychom se zprvu musili, jaké asi býti může; a však shledáme hned, že se v pohybování sotva jiný rozdíl dělati dá, než který se objevuje s ohledem na *cestu* čili *dráhu*, kterou se pohybování děje, a s ohledem na *čas* čili *dobu*, ve které se koná a skutečně pak i také vykoná.

Všímáme-li si *spůsobu* cesty, může se tu jen dvé rozdílů činiti; nebo cesta tu buď *rovná* čili *přímá*, anebo *křivá* jest. Přímou čili rovnou cestu každý zná; co se však křivé týká, nelze ani udati, kolikerá tu býti může; ano mohlo by se tvrditi, že tolikerá, kolikerá se jen mysliti dá. Kdož na př. dovede vypočísti ono nesčíslné množství křivých cest, které za den vykonává ruka naše! — Z toho již vysvítá, že by to pro nás velmi nesnadnou úlohou hylo, kdybychom každou takovouto vykonanou dráhu seznati měli. Úloha naše se však znamenitě usnadňuje tím, že nám pro život praktický jen takových drah

si všímati jest, které sám každý zná. A kdoby také neznal dráhu rovnou čili přímou, dráhu v kruhu čili v kole a konečně dráhu, kterou koná hozený kámen aneb se střech tekoucí voda, dráhy to vesměs jednoduché, které postačují k účelu našemu.

B. Rychlost.

4. Rozdíly dráhy s ohledem na *dobu* ve které se nějaká dráha vykoná, jsou dosti známé ze života obecného. Tak víme, že jeden předmět v běhu jiné předbíhá, kůň na př. člověka; avšak netřeba ani pochybovati, žebychom tam, kam kůň doběhne, dojíti, ano žeby tam i každý hlemýžď dolezti a se doplaziti mohl, jen že se tu i hned namítá otázka, *kdy* se tam asi každý z nich dostaví? Obecný život také dělá rozdíl tento, pravě, že se předmět jeden *zdlouha*, jiný *čerstvé* pohybuje, při čemž se jak povědomo na *dobu* i na *dráhu zároveň* ohled bráti musí. Aby se jednak určitosti, jednak jednoduchosti a snadného všeobecného dorozumění docílilo, ustanovil se učený svět na tom, aby se pro rychlost jen *ona dráha* pozorovala, kterou předmět za šedesátý díl jedné minuty, t. j. *za jednu vteřinu* č. sekundu vykonává, tak že pak v krátké mluvě i samu dráhu tuto **rychlosti** nazýváme. Tak na př. možno nám mluviti o rychlosti koně, t. j. o velikosti dráhy, kterou kůň v nějaké určité době, čili krátce o dráze, kterou za jednu sekundu vykonává.

Rozumí se však samo sebou, že nikdo dráhu, kterou za jednu sekundu vykoná, neměří, aniž mu to možno jest, poněvadž se ani začátek ani konec doby tak krátké určitě ustanoviti nedá. Než jak již zmíněno, jedná se tu o dráhu zcela libovolnou s ohledem na čas jí přináležející, z čehož se pak umělý pojem rychlosti snadno vyvésti dá. Tak na př. každý shledá, žeby rychlost člověka 1′ byla, kdyby za minutu 60′ aneb za 5 minut 300′ cesty vykonal. Z toho vysvítá, že se člověk delší čas procházeti a při tom dobu a v ní vykonanou dráhu pozorovati může, aby pak z obou dvou na svou při tom rychlost souditi mohl. Téhož docílíme i u jiných hmot, když se běh jejich sleduje a při tom na dobu pozor dává, aby se vždy

ustanoviti mohlo, jak veliká dráha na jednu sekundu připadá, což, jak již svrchu zmíněno, *rychlostí* se nazývá. Hodíme-li na př. v pravidelnějším řečišti nějakou dřevěnou věc do vody a sledujeme zmíněným spůsobem běh její, ustanovíme s ohledem na čas rychlost tekoucí tam vody. Z věci samé již vysvítá, že se toto stanovení rychlosti tím určitěji provede, čím jest pohybování pravidelnější, tak žeby se pro nějaké přesné a umělé ustanovení rychlostí takové pohybování předpokládati musilo, které by se po celou dobu vždy rovnou měrou dělo, *pohybování setrvalé*, které se tedy nikdy ani nezrychluje ani nezpozduje, asi takové, jaké u dobrých hodin našich pozorovati jest. Pak třeba jen rozděliti vykonanou dráhu na tolik dílků, kolik sekund pohybování bylo trvalo, a máme vykonanou dráhu za jednu sekundu čili žádanou rychlost pohybující se věci.

5. Namítá se ještě otázka, zdali vůbec možno jest, mluviti o rychlosti některých předmětů, jako na př. člověka, koně, vody, větru a p., jejichž rychlost se téměř ustavičně měnívá. — V takovýchto případech by ovšem těžko bylo, chtíti mluviti o nějaké rychlosti těles, leč bychom ji jen na nějaký okamžik potahovati chtěli; než stává také i množství jiných případů, kde pohybování i po delší čas poněkud setrvalé bývá. Pracuje-li člověk delší čas, na př. více dní bez přestávky, osvojí si v pohybování těla svého jistou míru, která se síle jeho právě přiměřena býti vidí, a práce jeho děje se pak jaksi stále nějakou silám jeho přiměřenou rychlostí. Ještě nápadněji můžeme pozorovati tuto pravidelnost u lidí cestujících, koňů pracujících, u tekoucí vody v pravidelném řečišti a j. Takové a podobné případy dopouštějí, aby se o rychlosti člověka a vůbec všech pohybujících se hmot alespoň sblíženě mluviti mohlo; ano ačkoli se rychlost stále mění, dá se v celku předce vždycky nějaká *rychlost výslední* mysliti, t. j. taková, kterou by se hmota *po celou dobu pravidelně* pohybovati musila, aby se od ní tatáž dráha vykonala. Kdyby takovéto uměle vymyšlené rychlosti nebylo, nemohli bychom ani vůbec o rychlosti mluviti, poněvadž se u všech hmot ustavičně měnívá. Jen na takovémto základě se bedlivě ustanovuje rychlost koně, vody a téměř všech v ži-

votě praktickém pohybujících se důležitějších předmětů. Tak se ukázalo, že mívá rychlost v stálé práci

	slabý	střední	silný
člověk	2′	$2\frac{1}{2}$′	$3\frac{1}{3}$′
kůň	$3\frac{1}{2}$′	4′	$4\frac{1}{2}$′
vůl a osel	2′	$2\frac{1}{2}$′	3′

Pochody pěšího vojska jsou na př. tak zařízeny, že se pohyhuje voják v kroku slabém rychlostí 3′, v kroku obyčejném rychlostí 4′ a v kroku silném 5′. Voják jízdný se pohybuje na obyčejném pochodu rychlostí $4\frac{1}{2}$′. Stávát ovšem případů, že se lidé i koně mnohem rychleji pohybují, na př. běhouni, kteří někdy zároveň s koněm tryskem běží, rychlostí 8′ i 10′ ano i také 13 stop, avšak jsou to jen řídké výminky.

Námitka, jak by se asi rychlost ustanoviti měla, když člověk na př. při práci sedí, tím odpadává, že člověk tenkráte rukama pracuje, tedy se také pohybuje, z čehož následuje, že se rozdíl jen v tom zakládá, že pohybování tedy i zmíněná rychlost jednou v nohou, po druhé v rukou se jeví, jak to práce žádá, což tělu našemu jedno jest. Odtud patrno, že pracuje-li člověk stále, na př. na kole aneb na klice nějakého stroje, i tato by se střední rychlostí jako ruka jeho $2\frac{1}{2}$′ pohybovati musila.

6. Z přirozenosti věci samé vysvítá, že v jednotlivých případech zmíněná čísly vyznačená rychlost se skutečností nesouhlasí; nic méně však blíží se k ní předce nejvíce, tak že to jediný prostředek bývá, jímž se ku pravdě a následovně i ke skutečnosti nejvíce přibližujeme, poněvadž udaje tyto právě ze skutečnosti vzaty jsou. Nebo byla-li rychlost pohybujících se předmětů mnohými obezřelými zkouškami ustanovena, může pak býti měrou pohybování a základem, na němž se jednak na dráhu, jednak na dobu souditi dá, t. j. odkud se s jakousi určitostí ustanoviti může, jak velká dráha se za nějaký daný určitý čas vykoná, aneb jaké doby třeba, aby předmět nějakou známou danou cestu vykonati mohl. Tím jest možno rozluštiti množství úloh, které nám praktický život poskytuje, a kde se *o rychlost*, o *dobu* a o *dráhu* jedná.

Rychlost: vykoná-li člověk za hodinu a 40 minut míli cesty, jakou rychlostí se pohybuje?

1 míle = 4000° = 4000. 6′ = 24000′

1 hodina 40 minut = 100 minut = 100.60 sekund = 6000 sekund.

Za 6000 sekund vykoná 24000 stop; kolik tedy za jednu sekundu?

Následovně 24000′:6000 = 4′*), což jest *rychlost*, kterou se člověk v tomto případě pohybuje.

Vykoná-li člověk míli cesty za dvě hodiny, jakou rychlostí se pohybuje?

Doba: jak dlouho to trvati bude, aby člověk rychlostí 4′ vykonal míli cesty t. j. 24000′?

Nutně tolik sekund, kolikrát čtverka v 24000 obsažena jest; tedy 24000:4 = 6000 sekund čili 6000:60 = 100 minut, t. j. 1 hodinu 40 minut.

Vykračuje-li člověk rychlostí $3\frac{1}{2}$′, jak dlouho to bude trvati, aby vykonal míli cesty?

Jak dlouho musí cestující kráčet, aby vykonal cestu 6 mil rychlostí 3′?

Dráha: kráčí-li člověk 1 hodinu a 40 minut rychlostí 4′, jak velkou cestu vykoná?

Jestiť 1 hod. 40 min. = 100 minut = 100.60 sekund = 6000 sekund; vykoná tedy 6000krát 4′ = 6000.4′ = 24000′ čili jednu míli.

Vykračuje-li člověk rychlostí $3\frac{1}{2}$′, jak velkou cestu vykoná za dvě hodiny?

---

*) Aby se vyznačilo, že se číslo dělitl má, dělá se dle všeobecného zvyku počtářů buď dvojtečka (:) za ně, aneb ležatá čára (—) pod ně. Číslo, které ukazuje, na kolik dílů se to státi má, staví se za dvojtečku aneb pod ležatou čáru. Ujde-li na př. člověk za 5 minut 50°, mnoho-li za minutu? — ovšem že 5tý díl; jest tedy 50°:5 = 10° čili $\frac{50°}{5}$ = 10°. Aneb, jak se také v obecných školách počítává, přijde na jednu minutu tolik sáhů, kolikráte pětka v padesáti obsažena jest, poněvadž z každých pěti sáhů vždy jeden na každou minutu připadá, tedy tolikráte jeden čili vůbec tolik, kolikráte těch pět sáhů vykonáno čili v padesáti obsaženo bylo.

Jezdec jede na koni rychlostí 6′, jak daleko dojede za 4 hodiny?

Rychlost se tedy určí, když se ustanoví, jaká část vykonané dráhy na jednu sekundu přichází čili když dělíme dráhu, obyčejně stopami vyznačenou, dobou čili časem, který se sekundami vyznačiti musí. Jestiť následovně:

rychlost = *dráze* : *časem* čili krátce r = d : č aneb $r = \frac{d}{č}$.

Doba se určí, když se ustanoví, kolikráte rychlost, t. j. dráha, která se v jedné sekundě vykoná, obsažena jest v celé dráze, která se konati má. Dle toho bychom měli

čas = *dráze* : *rychlostí* čili krátce č = d : r aneb $č = \frac{d}{r}$.

Dráha se určí, když se rychlost t. j. dráha jedné sekundy tolikráte vezme, kolik sekund doba obnáší, ve které se dráha konati má. Následovně jest

dráha = *rychlosti* × *časem* čili krátce d = r × č aneb r = r č.

Z předešlého již vysvítá, že se na věci nic nemění, kdyby dráha i jakkoli křivá byla, tedy i tenkráte ne, pohybuje-li se člověk čili kůň v kruhu, aneb když člověk klikou nějaký hřídel nebo kolo otáčí. Zdánlivě jeví se rozdíl jen v tom, že zde nebývá otázka po vykonané dráze, poněvadž člověk stále na jednom místě setrvá; než že se tázáváme, kolikráte člověk v jisté době hřídel otočí aneb kolikráte kůň kolem obejde. Béře se tedy vlastně obvod kruhu za jedničku, a jednává se o to, kolik takových se v určité době vykoná. Pohybuje-li se na př. kůň v kruhu, jehož obvod 100′ obnáší, rychlostí 5′, obejde jej za 20 sekund, za minutu tedy třikrát, následovně za hodinu 3.60 = 180krát *). Je-li kůň zapřažen k nějakému stojatému hřídeli, vysvítá již samo

*) Počtář si vyznačuje pojmy tyto zvláštním písmenem, staví rychlost = *c*, dobu = *t*, a počet oběhů = *n* a má v *ct* = 2 π *r*. *n* všecky zde možné úlohy obsaženy. Z toho ustanoví

sebou, že pak se i tento za hodinu 180krát otáčeti bude. Máme-li na hřídeli kliku, kterou se kruh 9′ velký opisuje, vysvítá, že obyčejný dělník, který rychlostí 3′ pracuje, tento kruh za 3 sekundy jednou opíše čili hřídel za 3 sekundy jednou, následovně za minutu 20krát otočí. Samo sebou se rozumí, že by jej za hodinu, kdyby bez přestávky pracoval, 60.20 = 1200krát otočiti musil.

7. Již tyto příklady jasně ukazují, jakých výhod tento uměle utvořený pojem rychlosti pro vypočtení nějaké skutečné práce míti může. Představíme-li si, že k takové klice na př. pumpa připevněna jest, která každým otočením kliky tedy i souhlasným vytažením a sražením pumpové tyče vždy máz vody vytáhne, shledáme, žeby jich 1200 za hodinu vyteklo a žeby se pak také snadno ustanoviti dalo, mnoho-li vody by kůň, člověk a j. za den aneb za jakýkoli jiný určitý čas vyčerpati mohl. Kdyby člověk touto klikou kbelík čili okov ze studny nebo ze šachty táhnul, také by se snadno vypočtlo, kolik by jich za hodinu, nebo za celý den při stálé práci vytáhnouti mohl. Natáčí-li se na př. provaz kbelíku na hřídel, který má v obvodu 2′, zvedá se přirozeně kbelík každým otočením dle hořejšího příkladu za 3 sekundy o 2′ výše, v jedné minutě tedy o 20.2′ = 40′ = 6° 4′, jelikož člověk, jak nahoře ustanoveno, kliku 20krát za minutu otáčí. Je-li šachta na př. 13° hluboká, potřebuje člověk 2 minuty, aby kbelík nahoru vytáhnul. Kdyby tedy bez přestávky pracovati mohl, vytáhl by jich 30 za hodinu a t. d.

Rovněž se pak snadno i jiné úlohy provedou, jako na př. jak silný hřídel aneb jaký buben by se udělati musil, aby se

---

r t. j. *poloměr*, jaký kruh míti č. jak velký kruh býti musí, aby jej s rychlostí *c* v době *t* *n*krát obešel;

c t. j. *rychlost*, s jakou se musí pohybovati, aby v určité době *t*, kruh, jehož poloměr *r* jest, *n*krát obešel;

n t. j. *počet oběhů* č. kolikrát obejde kruh, jehož poloměr *r* jest, kráčí-li v něm dobu *t* s rychlostí *c*;

t t. j. *dobu*, jakou č. jak dlouho kráčeti musí rychlostí *c* v kruhu s poloměrem *r*, aby jej *n*krát obešel.

provaz na něj se natáčející po každém otočení vždy o 22″ do výše zvedal aneb do hlubiny padal. K tomu není ničeho potřebí, než vědět, že se obvod na každém válci čili kruhu vůbec z průměru jeho ustanoviti dá. Přidáme-li totiž k trojnásobnému průměru i ještě sedmý díl jeho, máme délku takovou, že se jí celý válec tedy i hřídel obejmouti dá, následovně tak velkou jako obvod kruhu tomuto průměru přináležejícího. Má-li se provaz dle hořejšího příkladu vždy o 22″ zvednouti, musí být obvod hřídele 22″ velký a průměr jeho tedy o něco málo menší než třetí díl celého obvodu, vlastně $3\frac{1}{7}$ čili $\frac{22}{7}$krát menší. Dle toho by byl $22'' : \frac{22}{7} = 7''$ velký *).

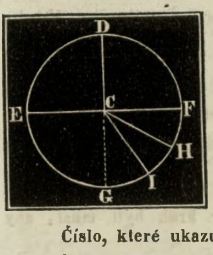
Upotřebí-li se známost této věty, může se základ svrchu zmíněných úloh tím rozšířiti, že se v podobných případech jen poloměr aneb průměr a ne již hotová velikost obvodu udává. Na př. jak velký by musil býti kruh, aby jej člověk za minutu jednou obešel? — Vykračoval-li by obyčejnou rychlostí $2\frac{1}{2}'$, byl by to kruh $2\frac{1}{2}' \times 60 = 150'$ velký a průměr jeho by obnášel $150' : 3\frac{1}{7} = 48' = 8^0$.

Je-li klika na hřídeli 14″ velká a pracuje-li člověk s rychlostí 3′, kolikráte otočí hřídel za minutu? — On vykoná za

---

*) Přímá čára, která se vede ze středního bodu čili středu C, (obr. 1.) nějakého kruhu DFGE k obvodu jeho, jako jest CF, CH, CJ . . . nazývá se *poloměr* a vyznačuje se obyčejně začátečním písmenem latinského výrazu jeho *radius*, takže na př. CD = *r* jest. Provede-li se poloměr středem až na druhou stranu obvodu kruhu, jako DG a EF, nazývá se *průměr* a vyznačuje se obyčejně začátečním písmenem řeckého pojmenování jeho *diametr*, tak že EF = *d*, následovně i 2r = d jest.

Obraz 1.



Číslo, které ukazuje kolikráte obvod každého kruhu větší jest než průměr jeho, značí se vždy řeckým písmenem π, jehož velikost dosti určitě ustanovena jest; rovná se totiž $\pi \doteq 3\frac{1}{7} = \frac{22}{7} \doteq \frac{355}{113} = 3.14159$. Vyznačí-li se žádaná výška v hořejší úloze písmenem *v*, ustanoví z toho počlář snadno průměr potřebného k tomu hřídele čili bubnu. Jestiť totiž $\pi d = v$ t. j. obvod hřídele, je-li průměr *d* změřen aneb ustanoven; a $d = \frac{v}{\pi}$ t. j. průměr pro nějaký určitý obvod.

minutu $60.3' = 180' = 12.180'' = 2160''$. Jelikož klika poloměrem jest, průměr tedy $28''$ obnáší, jest klikou opsaný kruh jednoho otočení $= 3\frac{1}{7} \times 28'' = 88''$ velký. Poněvadž kruh tento ve vykonané dráze sblíženě $24\frac{1}{2}$krát obsažen jest, totiž $2160 : 88 = 24\frac{1}{2}$, vysvítá, žeby člověk kliku právě také tolikrát za minutu otáčel.

Síla.

A. Stanovení síly.

8. Zkušenost nás učí, že se hmoty, které se nepohybovaly, pohybují, a jiné pohybující se že se pohybovati přestávají. Považíme-li, že setrvačné hmoty samy o sobě pohybování ani začíti ani končiti nemohou*), jest patrno, že nám příčiny těchto změn vždy mimo hmotu hledati jest.

Rozhlédneme-li se po jednotlivých případech výjevů těchto, shledáme, že příčina jejich mimo smyslný svět náš se nacházeti musí; nebo vyhozen-li na př. kámen rukou naší, co bylo toho příčina? — ani ruka, ani kámen. Pomáháme si tu krátce; nazýváme ť takovou nadmyslnou příčinu každého pohybování *silou;* říkáme tedy, že to síla ruky naší jest, která kámen pohybuje. Taktéž známé jsou výpovědi praktického života, že to síla koně, síla větru, síla páry a j. pohybuje, z čehož již patrno, že se nám v skutečnosti velmi rozmanité síly naskytují.

Považíme-li ale věc tuto důkladněji, ukáže se hned, že to jen zdánlivý rozdíl jest, v pravdě však že mezi silami žádného rozdílu nestává. Každý domnělý rozdíl objevuje se toliko v původu jejich, hledíme-li totiž k tomu, odkud tyto síly pocházejí. Na takovémto základě bychom pak ovšem mohli rozeznávati *sílu svalní* u člověka, u koně, vola a j., *sílu spojitosti* těles, zpružení jejich, *sílu tíže,* vody a rozličného závaží, *sílu tepla*, páry, *sílu větru*, *sílu električnosti*, *magnetičnosti* a t. d. V účinku jejich neznáme však rozdílu žádného;

*) Viz Nauky technické od Dra. Antonína Majera. O spojivosti. V Praze 1855. str. 20.

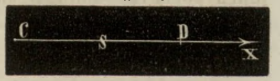
nebo představíme-li si na př. rozemletý kámen, není na moučce jeho viděti, zdali se to silou svalů našich, čili silou tíže, silou páry aneb jinak bylo stalo. Jen tenkráte může býti řeč o nějakém rozdílu sil, když se nám o to jedná, která by se z tohoto množství sil k našim účelům upotřebiti dala, která by k účelům těmto výhodnější a věci přiměřenější aneb dokonce, což v průmyslném životě nejhlavnější otázkou bývá, která by z nich v jistých případech nejlacinější byla.

9. Jelikož se již zde na začátku o spůsobilosti těchto sil rozličných s ohledem na tak rozmanitou práci života praktického ještě mluviti nemůže, vzhledem na práci tu však žádného rozdílu není, nezbývá ničeho, o čem by se vůbec u sil jednati mohlo, leč předměty takové, které se na každé síle rozeznávati dají a mají, ať pak již upotřebená síla pochází odkud chce. Především jest to místo, aneb určitěji onen bod, kde síla bezprostředně na hmotu působí čili jak říkáme *působiště* (Angriffspunkt) její; pak jest to cesta čili dráha, kterou síla hmotu skutečně pohybuje aneb jen pohybovati aneb i také pohybováni její rušiti se snaží, kam tedy síla s účinkem svým zaměřuje čili směřuje, *směr* (Richtung) síly, konečně i *velikost* (Intensität) její, tak že těmito třemi věcmi každá síla ustanovena čili určena, t. j. tak udána jest, že se v takových okolnostech žádná jiná ani mysliti nedá.

Poněvadž síla věcí zcela nadsmyslnou jest, vysvítá, že se i z těchto tří podstatných částí čili znaků jejich žádný smysly pojmouti nedá, že to tedy pojmy nadsmyslné jsou. Tak na př. každý ví, že ani působiště ani směr ani velikost síly ruky naší viděti není, když se jí nějakého pevného předmětu uchytíme, abychom na něj působili. Teprv z účinků nám lze souditi, jaké byly. Jelikož nám však o těchto věcech často jednati, s nimi jiné spojovati ano nové výroky pak z vespolného jich působení odvozovati jest, vysvítá potřeba, aby se tyto nadsmyslné (*abstraktní*) pojmy také smyslně vyznačovaly, poněvadž se takovými pomůckami práce jistější a přehlednější stává, a právě tím i usnadňuje. Přirozeně klademe tedy do místa, kde si působiště síly nějaké mysliti chceme, *bod*, který nám je značí;

tam, kam síla působiti má, vedeme z něho *přímou čáru*, která pak směr síly zobrazuje, a jelikož velikost této rovné čáry zcela libovolná jest, můžeme ji udělati tak velkou, jak se nám zapotřebí vidí, aby nám svou velikostí i velikost dané síly vyznačovala. Takové znázornění vidíme na obraze 2., který nám ukazuje, že z bodu C působí do x síla S, tak že zde působiště bodem C, směr přímkou Cx a velikost síly velikostí CD vyznačena jest.

Obraz 2.



10. Poněvadž síly neviditelné příčiny rozličných výsledků a výjevů jsou, namítá se otázka, zdali by se takto znázorněná velikost jejich vůbec *určiti* mohla, jak se všecky tyto tak rozmanité síly a *čím* se *měřiti dají*, coby tedy měrou jejich bylo? — Zde třeba především uvážiti, že si velikost síly jinak představiti nelze, leč účinkem jejím. Přirozeně se musí vždy předpokládati, že účinek tak velký bude jako jest síla, z čehož opáčně následuje, že i síla právě tak velká býti musila, jako to výsledek její ukazuje. Jestiť to tedy v hořejším příkladě asi tak, jakoby síla v upotřebení svém k vykonání dráhy z C do D postačovala.

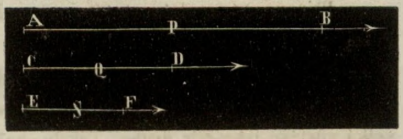
Při věcech těchto nadsmyslných nelze nám následovně jinak leč z výsledků souditi na velikost jejich. Považíme-li však, že tentýž výsledek rozličnou silou uskutečněn bývá, že se na př. pohnutí nějaké věci z jednoho místa na druhé buď silou svalní, buď pružností, buď vodou a větrem, buď parou atd. díti může, vysvítá, že všecky známé druhy sil již za touto příčinou jaksi jen v jednu sílu čili v jeden původ téhož výsledku splývají. Dále z toho nutně následuje, že předpokládati musíme, že všecky síly, jichž účinky sobě vespolek rovny jsou, co do velikosti sobě rovny býti musí, že tedy velikostí jedné síly i velikost každé jiné vyznačena býti může. Sevřeme-li na př. svou rukou nějaké pružné péro, jest přirozeno, že s tu povstalé spružení péra vyrovnává svalní síle ruky naší; dá-li se toto pružné péro také tak sevříti závažím 40 lib., jest na bílednì, že síla pružnosti se vyrovnává síle 40 lib., následovně že i svalní síla ruky naší 40 lib. velká jest atd. Odtud také jde,

že nějaká síla tolikráte větší býti musí než jiná, kolikráte účinek její větší jest než účinek této síly.

11. Z předešlého vysvítá, že se každá síla jinou silou porovnávati tedy i měřiti dá, poněvadž se velikost sil jen z účinků jejich poznává, tento však rovnou měrou od každé síly pocházeti může. *Každá síla* bez rozdílu může tedy býti *měrou* sil vůbec, z čehož následuje, že se taková síla vyvolí, která se k tomu *nejpříhodnější* býti vidí, a to jest *tíže*. Výhody upotřebení tíže záleží v tom, že se tato síla nikdy nemění, že jest vůbec známa a že se každou libovolnou hmotou zastoupiti dá. Považíme-li, že *libra* dle starodávného zvyku *míra tíže* jest, vysvítá, že nám počet liber velikost tíže, následovně i každé jiné v účinku ji rovné síly vyznačovati bude; a poněvadž nám tu především jen o účinek jednati jest, budeme stále mluviti jen o síle vyznačené librami, ať již síla tato pochází odkud chce. Na tomto základě jest možno číslem vyznažovati a právě proto i vypočítávati velikost sil. Přirozeně také nic nevadí, aby si pak pod tím každý myslil s tímtéž výsledkem čili účinkem i sílu jakoukoli jinou, aneb aby i upotřebil k uskutečnění výsledku nějakého síly takové, která k tomu nejpříhodnější jest.

Odměří-li se napřed síly tíží, t. j. vyznačí-li se nějakým počtem liber velikost jejich, možno je pak snadno vespolek porovnávati. Nebo je-li na př. jedna síla 3 libry, druhá 12 liber, jest přirozeno, že tato 4krát tak velká jest jako síla první. Z toho vysvítá, že se na tomto základě i vyznačování sil vůbec přímkami díti může, když se pro jednu libru nějaká určitá délka vezme. Jelikož však pro libru libovolnou délku voliti můžeme, jest patrno, že to není ona přijatá prostá (*absolutní*) délka přímé čáry, nýbrž *jen porovnání její s jinou*, které toto vyznačení možné činí. *Velikost síly se nedá sama o sobě znázorniti, ona se vždy jen po nějaké míře vyznačuje, tak že jen porovnání velikosti této rovnou čarou vyznačené síly s přijatou měrou* čili, jak se uměle říká, *poměr její při tom hlavní a podstatnou věcí jest.* Vyznačí-li se na př. síla P (obr. 3.) přímkou AB, síla Q přímkou CD a síla S přímkou EF, a je-li síla P dvakrát tak velká jako síla Q t. j. P = 2Q, a

Obraz 3.



třikrát tak velká jako síla SS t. j. P = 3, vysvítá, že i přímka AB dvakrát tak velká jako CD t. j. AB = 2CD a třikrát tak velká jako EF t. j. AB = 3EF býti musí. Uměle se to vyznačuje následovně:

P : Q = AB : CD = 2 : 1 a P : S = AB : EF = 3 : 1

čili vůbec P : S : S = AB : CD : EF *).

---

*) Když se dvě věci, na př. dvě délky, dvě čísla a *j. porovnávají*, děje se to nejobyčejněji tím způsobem, že jedno druhým *měříme*, t. j. že se tážeme, kolikráte jedno v druhém obsaženo jest a proto také jedno druhým *dělíme*. Má-li na př. někdo (A) 4 zl. a jiný (B) 12 zl., má B 3krát tolik co A, jelikož v 12 zl. : 4 zl. = 3krát obsaženy jsou. Měřili jsme totiž 12 zl. čtyrmi zlatými a shledali je tam co upotřebenou míru naši třikráte. Porovnání děje se tedy vždy *po nějaké míře*, a právě za tou příčinou nazýváme sestavení dvou veličin k tomu účelu, abychom jednu s druhou porovnávali čili měřili, *poměr jejich*, jako máme zde 12 zl. : 4 zl. a nahoře P : Q čili AB : CD.

Koupí-li se za 12 zl. 4 lokte nějakého zboží a následovně za 6 zl. 2 lokte, máme tentýž poměr mezi zbožím, jaký byl v penězích, vždy na jedné straně dvakrát tolik co na druhé, totiž v 12 zl. : 6 zl. = 2krát a také v 4 lk : 2 lk = 2krát. Z toho následuje, že se oba poměry vespolek vyrovnávají, že jest tedy

12 *zl.* : 6 *zl.* = 4 *lk* : 2 *lk* čili 12 : 6 = 4 : 2.

Jelikož totéž ve všech podobných případech platí, kde se peníze a zboží vespolek porovnává, mohli bychom všeobecně psáti

Peníze : *peníze* = *Zboží* : *zboží*

čili krátce P : p = Z : z

tak že nám P a p libovolné množství peněz a Z a z příslušné jim zboží vyznačovati může. Uměle se nazývá toto *srovnání dvou sobě rovných poměrů srovnalostí*, a říká se všeobecně, na př. v případu hořejším, *že stojí peníze v témž poměru jako zboží* a naopak, *že stojí zboží v témž poměru jako peníze*, t. j. přibývá-li peněz, že přibývá i v též míře zboží; a naopak přibývá-li zboží, že musí přibývati i v takové míře peněz. Rozumí se samo sebou, že obojího zároveň i v též míře ubývati musí. Tím se vysvětluje i nahoře uvedená srovnalost P : Q = AB : CD, která nic jiného neznačí, než že se rovná čára AB tolikráte větší udělati musí než CD, kolikráte síla P

Přirozeně se platnost této srovnalosti nemění, ať již síla P = 2 lib. a síla Q = 1 lib., aneb ať jest P = 4 lib. a Q = 2, také P = 20 lib. a Q = 10 atd., a vůbec to platí pro každé libovolné množství liber, pokud jen síla první dvakrát tak velká zůstává jako síla druhá. Tak bychom mohli na př. porovnávat

---

větší jest než síla Q, a naopak, že si sílu P tolikráte větší myslíti musíme, kolikráte AB větší býti vidíme než jest CD, t. j. že AB a CD v té míře růsti a ubývati musí, ve které síl P a Q přirůstá aneb ubývá. Rozumí se samo sebou, že se i více předmětů zároveň tímtéž zákonem porovnávati, následovně i tímtéž způsobem vyznačovati dá, jako jest P : Q : S = AB : CD : EF atd., což nic jiného neznamená, než že veličin jedné strany tak přibývá a naopak i také tak ubývá, jako se to s veličinami druhé strany děje.

Mimo tyto stává také v životě praktickém množství věcí, které se právě obráceným způsobem porovnávati musí. Tak víme, že práce *tím méně* dní trvá, *čím více* dělníků pracuje; že se z téhož předíva tkanina zhotoviti dá, která má *tím méně* loket do délky *čím více* se jich do šířky béře a p. Jestliť to porovnání takové, že jedna věc v té míře roste, ve které druhé ubývá, čili že se jedna stává vždy tolikráte větší, kolikráte se byla druhá menší stala, a naopak. Jestliže na př. 4 pracovníci práci zhotoví za 6 dní, zhotoví 8 pracovníků tutéž práci za 3 dni. Jestliť tedy 4 pr. : 8 pr. tak jako 3 dní: 6 dní čili 4 pr. : 8 pr. = 3 dni : 6 dní. Druhý poměr se musí začínati s 3 dny, které 8 pracovníkům náležejí, jimiž jsme první poměr skončili. Náleží-li pracovníkům P dni D a pracovníkům p dni d, obdržíme všeobecně:

P*racovníci* : **p***racovníci* = **d***ni* : **D***ni* čili **P : p = d : D** t. j. *počet pracovníků stojí v převráceném poměru s počtem dnů*, ve kterých uloženou práci vykonávají, a naopak.

Použije-li se také známé mathematické pravdy, že se totiž v každé srovnalosti součin členů krajních t. j. prvního a čtvrtého vždy vyrovnává součinu členů vnitřních t. j. druhého a třetího, jest možno pak touto větou rozlušťovati i nejrozmanitější úlohy života praktického.

Nahoře bylo 12 : 4 = 6 : 2 tedy i 12.2 = 4.6 t. j. 24 = 24;
taktéž bylo P : p = Z : z čehož P. z = Z. p čili Pz = Zp
a z P : p = d : D jest P. D = p. d čili PD = pd atd.

Kdoby se obšírněji o takovémto praktickém počítání poučiti chtěl, viz *„Počtářství pro život obecný se zvláštním ohledem na obchodní třídu od Ant. Skřivana v Praze 1850.“*

všeobecně sílu *člověka, vola a koně*, jichž se při práci nejobyčejněji upotřebuje. Dlouholetým pozorováním a porovnáním těchto tří sil se totiž ukázalo, že člověk při stálé práci obyčejně silou 25 lib. působí, u dělníků silných že se i na 30 lib., u slabých však jen na 20 lib. počítati může. Síla obyčejná, kterou kůň a také vůl pracuje, jest 100 lib., ačkoli se jak přirozeno u silných i na 130 lib., u slabých však zase jen na 80 lib. počítati může. Dle toho bychom měli s ohledem na sílu následující srovnalost:

Člověk : **Kůň** = 25 lib. : 100 lib. čili 1 : 4, vůbec tedy Č : K = 1 : 4,

t. j. že síla koňů 4krát tak velká jest, jako síla tolikéhož počtu lidí. Takovýmto rozličným porovnáním objevil se znamenitý zákon v přírodě, že totiž zvířecí tělo pravidelně 5krát tolik vážívá, co síla jeho obnáší, kterou pracovati může. Tak brává se váha zrostlého člověka na 125 lib. a upotřebená síla jeho obnáší jen 25 lib.; váha obyčejného koně obnášívá 500 až 650 lib. a síla jeho 100 až 130 lib. Podobně to platí u vola, který 5—6 centů váží, u osla, který 250—350 lib. má, u mezka, který 400—600 lib. těžký bývá, a u j. Z toho vysvítá, že čím těžší tělo i tím více síly nabývá, ačkoli se samo sebou rozumí, že to jen v jistých mezích svou platnost míti může, jelikož nás skutečnost učí, že příliš těžké tělo spůsobilosti ku práci vždy pozbývá *). Z přirozenosti věci samé již vysvítá, že tu nemůže býti míněná nějaká přísná určitost, než že čísla tato jsou

*) Mnohými zkouškami se nalezlo, že *střední* váha hocha při narození 5·7 lib., děvčete však 5·16 lib. obnáší. V 25tém roce ukázala se býti *střední* váha mužského 112 lib., ženské 95 liber. Co se váhy týká, zdá se že tělo mužské v 40. roce úplného vyvinutí dosahuje, t. j. největší možné váhy nabývá t. v průměru 113·4 lib.; tělo ženské však se vyvine teprv v 50. roce a nabývá 100 lib. *Střední váha člověka vůbec* se ustanovila na 81 ⅓ libry. Z toho vysvítá, že největší váha člověka pravidelně 20krát tak velká jest, jako váha jeho při narození.

Uvádí se to zde co příklad, s jakou bedlivostí se všecky stránky skutečného života proskoumávají!

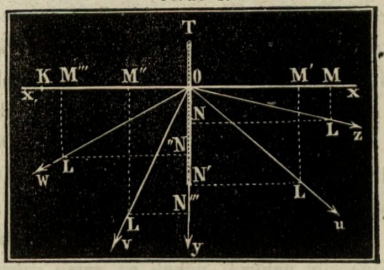
toliko výsledky *obyčejné zkušenosti*, které se však právě proto i skutečnosti nejvíce blíží, a za *všeobecné měřítko* sloužiti mohou.

B. Účinek síly.

12. Působí-li síla na nějaký předmět, a není-li působení jejímu žádných překážek, jest přirozeno, že se právě tak velký výsledek očekávati a také objeviti musí, jak veliká byla síla, tak že výsledek síly S (obr. 2) toutéž délkou CD se vyznačuje, jako velikost její, ať se to pak jakýmkoli měřítkem děje.

Namítá se otázka, jak to s účinkem dopadá, když směr síly takový jest, že se v něm účinek její jeviti nemůže. Příklad toho máme na lodi, která se po vodě pohybovati má, ačkoli ji po suchu jdoucí kůň stále za sebou na břeh táhnouti se snaží. Kdyby se účinek síly jen ve směru xx, (obr. 4) jeviti mohl, jakož se na př. loď toliko v řečišti a vlak jen v koleji železné dráhy pohybovati může, a kdyby upotřebená síla P ve směru Oz působila, jest patrno, že se tak velký účinek očekávati nedá, jako jest síla sama, poněvadž tato ve svém působení dosti vůle nemá. Abychom si případ tento řádně objasnili, představme si kolmo na dráhu xx, v bodu O stěnu Ty, od které se předmět na zmíněné dráze, tedy v jejím směru vzdalovati má. Z toho následuje, že se i skutečné vzdálení pohybujícího se předmětu ve směru zmíněné dráhy měřiti musí. Kdyby síla P směr dráhy xx, měla, byl by účinek její tak velký, jako jest síla sama, a mohl by se také vyznačiti toutéž přímou čarou jako velikost síly. Odchyluje-li se však směr této působící síly od dráhy xx, a přijde-li na př. do Oz, tak že se velikost síly P přímkou OL vyznačuje, vysvítá, žeby plný výsledek síly P dle jejího směru v tom záležel, aby se předmět zároveň od stěny i od dráhy směrem Oz vzdaloval. Měříme-li vzdálenost jak obyčejně kolmou čarou, tedy jest patrno,

Obraz 4.



žeby plný výsledek síly P žádal, aby se předmět, na který síla působí, od dráhy o ML a od stěny o NL čili což jedno jest o OM vzdálil. Je-li směrem xx, dráha pevná, ze které se pohybující se předmět vymknouti nemůže, jest patrno, že zmíněné vzdálení předmětu od dráhy o ML možné není, čili že se účinek tohoto vzdálení u velikosti ML pevnosti dráhy zruší, kdežto se účinek OM ve směru dráhy Ox volně jeviti může. Tážeme-li se ale po výsledku v tomto případu, není tu míněno nic jiného, než vlastně vzdálení se předmětu od stěny T, které se v této určité dráze tak dobře vykoná jako ve směru upotřebené síly, tedy ve velikosti NL čili OM, jelikož NL = OM, tak že upotřebená síla v tomto případu jiného výsledku nemá, leč OM.

Dle tohoto pochodu si objasníme výsledek síly P, který se vždy na dráze xx, jeviti musí, i v každém jiném směru ano i výsledek každé jiné síly v jakémkoli určitém směru. Tak by n.a př. ve směru Ou taláž síla P = OL na zmíněné dráze jen účinek OM′ měla. Vzdálení od dráhy M′L, které by se při působení volném nutně objeviti musilo, zruší se pevnou dráhou, která toho nedopouští. Kdyby síla tato konečně působila rovnoběžně se stěnou T, tedy ve směru Oy, neobjevil by se účinek zcela žádný, jelikož síla v tomto případu žádného vzdálení od stěny nežádá, které by na dráze xx′ možné bylo, předmět se však jak by síla žádala z dráhy uhnouti nemůže. Z toho následuje, že síla v případu, když se účinek její jen v jistém směru jeviti může, toliko v tomto směru s plným účinkem působí, a že jí skutečného účinku tím více ubývá, čím více se směr její od onoho uchyluje, až konečně ve směru kolmém (Oy) účinek její docela mizí. Odchyluje-li se síla od původního směru ještě více a působí-li směrem v, tak že P = OL, objeví se účinek její OM″ ve směru protivném. Účinek tento se tím více zvětšuje, čím více se směr síly dráze xx′ blíží, tak že ve směru Ow na OM‴ vyroste, až konečně ve směru Ox′ její účinek úplný, OK, tedy tak velký jest jako ve směru Ox, t. j. OK = P, ale ve směru protivném. Jako svrchu ruší se i v těchto případech ona část síly, jejížto účinek by ve vzdálení od dráhy LM″ a LM‴ záležeti měl. Podobné účinky by se

objeviły, kdyby se směr síly od zmíněné rovné xx' i dále ještě k T odchyloval*).

13. Z předešlého následuje, že se od upotřebené síly vždy nějaký účinek očekávati dá, když síla buď v takovém směru působí, ve kterém se účinek jeviti může, aneb když směr síly alespoň něco ze směru účinku možného do sebe má, čili abychom tak řekli, jemu poněkud příbuzný jest, — a že se tenkráte *žádného účinku* očekávati nedá, když směr upotřebené síly na směr možného účinku *kolmý* jest. Odtud vysvítá, že skutečný výsledek upotřebené síly vždy v takovém směru pozorovati třeba, ve kterém vůbec možný jest. Nicméně můžeme se však také vždycky tázati po účinku, který by upotřebená síla i v jakémkoli jiném směru míti mohla, ať pak již tam možný jest čili nic. I kdyby tam možný nebyl, nic tomu přece nevadí, abychom si to k účelům našim tak představili, jakoby se tam jeviti mohl. Vždy možno, jako ve svrchu zmíněném příkladě, na směr, ve kterém účinek síly pozorovati chceme, mysliti si kolmou stěnu, abychom si vzdálením se od ní účinek síly v tomto směru znázorniti mohli. Porovnáním skutečného výsledku s velikostí upotřebené síly se ukáže, jaká část této síly na dráze, která mimo směr její leží, s výsledkem se mine, když se tento toliko na dráze jeviti může. Působí-li na př. upotřebená síla $P = OM$ (obr. 5) ve směru Oy, jest účinek její na dráze xx' délkou OM' vyznačen. Jelikož $OM = ON$, jest účinek

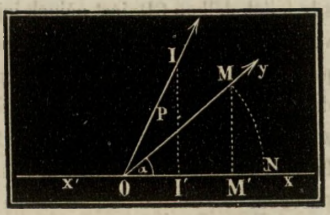
---

*) Všecky tyto možné případy nalezá počtář toliko v jedné krátké formě, která mu je jasně vyznačuje. Znázorní-li se totiž odchylka upotřebené síly P od daného směru úhlem α, jest každý jedině v tomto směru možný výsledek její p obsažen v $p = P \cos \alpha$ a část výsledku q, který se ruší v $q = P \sin \alpha$.

Vyznačí-li se však vzdálenost býti majícího účinku od pevné dráhy jako svrchu LM, LM' a j. písmenem y, bude také v jiné formě $p = \pm \sqrt{P^2 - y^2}$. Jelikož se dle rozličného směru úhel α jakož vzdálenost y mění, mění se tím stále i výsledek síly ve směru dané dráhy.

Velikost objeveného a zrušeného výsledku upotřebené síly není tedy nic jiného než průmět čili projekce (*projectio*) znázorněné velikosti dané síly na zmíněnou dráhu xx, a na stěnu T.

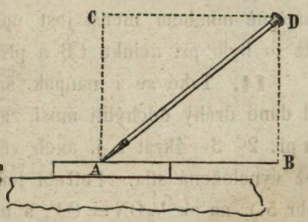
Obraz 5.



OM' o M'N menší než upotřebená síla P = ON. Porovnáme-li ztracenou část M'N s celou silou ON, shledáme, kolikátý díl ztracen jest, t. j. kolikráte ON = P větší jest než M'N.

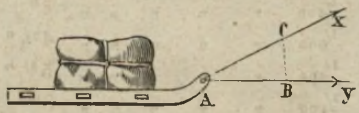
I skutečnost nám věc tuto dosti objasňuje; nebo kdybychom se na př. tyčí DA (obr. 6) o předmět A opírali, chtíce aby se po spodní ploše pohyboval, nebude účinek tak velký, jako jest velikost upotřebené síly, poněvadž síla v tom směru nepůsobí, ve kterém se účinek jeviti musí. Představuje-li nám AD velikost síly, bude velikost účinku délkou DC čili BA vyznačena, která menší jest než DA. Kdyby se tyče i v jiných směrech upotřebiti chtělo, bude účinek tím menší, čím více se směr tyče AD kolmému směru AC přiblíží, až konečně síla ve směru kolmém žádného účinku míti nebude. Naopak byl by účinek upotřebené síly tím větší, čím více by se směr síly směru dráhy AB blížil, až by se konečně v tomto směru velikosti celé síly vyrovnával.

Obraz 6.



Jiný toho příklad nám ukazuje k šmyku aneb k saním zapřažený a ve směru Ax (obr. 7) táhnoucí kůň. Jelikož se saně toliko ve směru Ay pohybovati mohou, neúčinkuje kůň celou velikostí síly AC, kterou působí; nebo účinek jest znázorněn délkou AB, která o něco menší jest než AC. Čím více se směr působící síly Ax směru možného účinku Ay přibližuje, tím větší jest účinek upotřebené síly v tomto směru a naopak. Z toho spolu vysvítá, že postraňky delší v tomto případu výhodnější jsou než kratší.

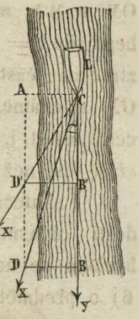
Obraz 7.



Příklad máme také na lodi, kterou koně proti vodě táhnou. (obr. 8) Působí-li koně směrem Cx a vyznačí-li se velikost

síly jejich délkou CD, jest účinek jejich, který se toliko ve směru Cy jeviti může, znázorněn velikostí CB. Jak patrno, jest CB menší než upotřebená síla CD. Jednoduché porovnání ukáže, že se upotřebené síly tím více ztrácí, čím provaz, na kterém koně táhnou, kratší jest. Pravost výroku tohoto již se objeví, když porovnáme působení ve směru Cx s působením ve směru Cx'. Již pouhý pohled ukazuje, že účinek v tomto směru CB' poměrně mnohem menší jest upotřebené síly CD', než to bylo při účinku CB a při síle CD.

Obraz 8.



14. Také se i naopak snadno ustanoviti dá, oč se síla od dané dráhy odchýliti musí, aby účinek její v tomto směru na př. 2- 3- 4krát a j. aneb vůbec o jakoukoli část menší byl, než vynaložená síla. Potřebí jen vzíti tolikátý díl na směru Ox (obr. 5.), na př. $\frac{1}{3}ON = OJ'$, a udělati v něm kolmou JJ', aby se pak pravá velikost upotřebené síly ON z bodu O na ni položila, čímž se úhel JOJ' obou sil v pravé velikosti objeví. *) Takovýmto postupným sestrojováním a porovnáváním velikostí upotřebených sil a výsledků jejích dle nějakého měřítka, aneb ještě lépe počtem se ukáže, že se ztrácí v účinku

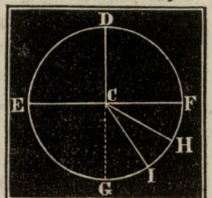
$\frac{1}{1000}$	síly,	když	směr	její	o	$2\frac{1}{2}^0$	čili	určitěji	o	2^0	33′	45″
$\frac{1}{800}$	„	„	„	„	„	3^0	„	„	„	2^0	51′	54″
$\frac{1}{600}$	„	„	„	„	„	$3\frac{1}{3}^0$	„	„	„	3^0	18′	31″
$\frac{1}{500}$	„	„	„	„	„	$3\frac{1}{2}^0$	„	„	„	3^0	37′	28″
$\frac{1}{400}$	„	„	„	„	„	4^0	„	„	„	4^0	3′	8″
$\frac{1}{300}$	„	„	„	„	„	$4\frac{2}{3}^0$	„	„	„	4^0	40′	46″
$\frac{1}{200}$	„	„	„	„	„	$5\frac{3}{4}^0$	„	„	„	5^0	43′	55″
$\frac{1}{100}$	„	„	„	„	„	8^0	„	„	„	8^0	6′	35″
$\frac{1}{90}$	„	„	„	„	„	$8\frac{1}{2}^0$	„	„	„	8^0	32′	56″
$\frac{1}{80}$	„	„	„	„	„	9^0	„	„	„	9^0	4′	7″
$\frac{1}{70}$	„	„	„	„	„	$9\frac{2}{3}^0$	„	„	„	9^0	41′	47″
$\frac{1}{60}$	„	„	„	„	„	$10\frac{1}{2}^0$	„	„	„	10^0	28′	31″

*) Počlář to raději vypočítává úhlem; jestiť totiž $\cos\alpha = \frac{p}{P}$. Má-li býti na př. účinek $p = \frac{1}{2}P$, bude $\cos\alpha = \frac{\frac{1}{2}P}{P} = \frac{1}{2} = \cos 60^0$, tedy $\alpha = 60^0$, dle čehož se pak i v jiných případech α snadno vypočte.

1/50	síly, když směr její o					11½°	čili	určitěji o		11°	28′	42″
1/40	„	„	„	„	„	12⅚°	„	„	„	12°	50′	19″
1/30	„	„	„	„	„	14⅚°	„	„	„	14°	50′	6″
1/20	„	„	„	„	„	18⅕°	„	„	„	18°	11′	12″
1/15	„	„	„	„	„	21°	„	„	„	21°	2′	22″
1/12	„	„	„	„	„	23½°	„	„	„	23°	33′	23″
1/10	„	„	„	„	„	25⅚°	„	„	„	25°	50′	31″
1/9	„	„	„	„	„	27¼°	„	„	„	27°	15′	58″
1/8	„	„	„	„	„	29°	„	„	„	28°	57′	18″
1/7	„	„	„	„	„	31°	„	„	„	31°	0′	10″
1/6	„	„	„	„	„	33½°	„	„	„	33°	33′	26″
1/5	„	„	„	„	„	37°	„	„	„	36°	52′	13″
1/4	„	„	„	„	„	41⅖°	„	„	„	41°	24′	35″
1/3	„	„	„	„	„	48⅓°	„	„	„	48°	11′	23″
1/2	„	„	„	„	„	60°	„	„	„	60°	0′	0″*).

*) Kráčejí-li dva stejnou cestou podlé sebe, nesetkají se nikdy, pokud tentýž směr podržují, nechť již těsně vedle sebe aneb povzdálí, na př. každý na jiné straně silnice postupují, tedy asi tak, jako dvě kola na též nápravě, kde obě *rovně běží*. Říkámeť v tomto případu, že se pohybují *rovnoběžně* čili že mají cesty jejich *směry rovnoběžné*, tedy asi takové, jako to při silách na obraze 3. viděti jest. Pakli se však *rozcházejí* čili *rozbíhají*, jako CF a CH (obr. 9.), nazýváme tento rozdíl směrů jejich *úhlem* (Winkel). Čím více se rozcházejí směry tyto, tím větší jest i úhel; tak povstane na př. větší úhel, jestli se směr CH do CJ odchýlí; ještě větší, přijde-li do CG, a úhel ten může napořád růsti, až do CE přechází a zcela protivným se stává. Odchylování toto mohlo by ještě pokročiti, až by E do D a konečně i zpět do F přišlo, tak že by se tímto postupným odchylováním celý kruh opsal. Aby se každé takovéto odchýlení směrů ustanoviti mohlo, rozděluje se tato plná odchylka v kruhu, tedy od F do G, do E, D až zase zpět do F, na 360 stejných dílů, které se *stupně* nazývají a malým kolečkem nahoře v pravo čísla (°) vyznačují. Odchylka jednoho stupně dělí se na 60 stejných dílů, kterým *minuty* říkáme (′), a konečně se rozpadává každá minuta ještě na 60 stejných dílků, totiž na *sekundy* (″). Proto se také nazývá kruh,

Obraz 9.



C. Skládání sil působících na tentýž bod.

15. Namítá se otázka, jak to asi s výsledkem vypadá, když více sil zároveň na nějaký bod působí. Případ takový objasní se tou okolností, že vždy *jen jeden* výsledek možný jest, kdyby tu i jakékoli množství sil působiti mělo. Tak víme, že se na př. každá pevná hmota jen jedním směrem pohybovati může, i když současně více silami na rozličné strany tažena jest. Dobře to pozorovati možno na lodi, která, kdyby současně vítr, voda i veslo na ni působily, přece jen jednu cestu koná, jedním směrem se pohybuje. Vůbec se dá, ať jest výsledek jakýkoli, místo těchto několika sil vždycky také mysliti *jen jedna* síla, která by tentýž výsledek míti mohla; aneb jak jsme si mluviti uvykli, vždy se dají tyto síly alespoň v mysli naší *složiti* v jednu sílu s tímtéž výsledkem. Tak si na př. dobře představiti můžeme, že by se zmíněná loď také provazem tam dotáhla, kam se větrem, veslem a proudem vody zároveň dostane. Odtud se nazývá síla, která nám svou velikostí výsledek více jiných zároveň působících sil vyznačuje, *silou výslední* čili jejich *výslednicí* (resultantou), a síly, z nichž výsledek této síly

---

který pravidelně na 360 stejných dílů tak rozdělen jest, aby se jím odchylky směrů porovnávati aneb i sestrojovati mohly, *úhloměrem*.

Úhel se vyznačuje buď zvláštním písmenem, které se mezi oba směry klade k bodu, z kterého se rozcházejí, jako α na obraze 5, aneb současným vyznačením obou směrů, jichž odchylka se tím vyznačiti má jako (x,y), aneb koncové stranicema, které úhel tvoří jako MO a MO, tedy (MO,OM'). Toto poslední se obyčejně ale v ten způsob skracuje, že se písmeno, které by se opakovati muselo, jako zde O, jen jednou a sice do prostřed položí, aby se rovnou měrou k oběma přibrati mohlo; tedy jen MOM' místo MO,OM'. Aby žádná pochybnost povstati nemohla, že to úhel jest, dělává se i malíčký úhel před to, tak že bychom měli na př. $\sphericalangle \alpha = \sphericalangle (x,y) = \sphericalangle$ MOM' $= 40^\circ\, 40'\, 40''$ t. j. úhel 40 stupňů, 40 minut a 40 sekund velký.

Aby se rozmanitost ve velikosti úhlu snáze přehlédnouti dala, rozděluje se plná odchylka v kruhu čili *plný úhel* na čtyry stejné díly po 90° jako $\sphericalangle$DEE, které se pravé úhly nazývají a písmenem R vyznačují, t. $\sphericalangle$DEE $= \sphericalangle$R $= 90^\circ$. Úhel, který menší jest než 90°, slove *úhel ostrý*, který však větší jest než 90°, nazývá se *úhel tupý*.

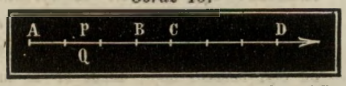
složen jest, jsou *složky* (komponenty) její. Z toho vysvítá zároveň, *že se každý počet sil v jednu složiti dá*, poněvadž si vždy představiti můžeme takovou sílu, jejíž účinek tak velký jest, jako účinek více sil dohromady. Naopak se každá výslední síla zase ve složky své rozpadává, ano poněvadž s ohledem na účinek i každou sílu za výslednici jiných považovati možno, vysvítá, že se také vždy místo každé síly více sil mysliti dá, které by tentýž výsledek měly. Z toho následuje, že každou z jiných takovýmto složením skutečně povstalou aneb i jakoukoli jinou sílu několika jinými silami zároveň bez ujmy výsledku nahražovati, čili jak říkáme, že každou sílu dle vůle *rozkládati* můžeme.

Jde-li nám *jen o výsledek*, patrnoť, že jedno jest, necháme-li na hmotu působiti zároveň více sil anebo jen jednu sílu, která totéž vykoná. Považíme-li však, že se nám v životě praktickém pravidelně a vůbec jen o výsledek jednává, ano že někdy při práci naší i nutnou věcí jest, výslednici čili výsledek více upotřebených sil *ustanoviti*, — vezme-li se konečně i na to ohled, že se úlohy praktického života značně zjednodušují a právě tím usnadňují, když se místo více sil síla jen jedna, totiž výslednice jejich pozoruje, vysvítá, že *stanovení výslednice* čili *skládání sil* pro nás důležitou úlohou býti musí.

Jelikož výslednice také síla jest, přirozenoť, že se jako každá jiná síla ustanovuje, když se totiž *působiště*, *směr a velikost její určitě udá*.

16. Působí-li více sil na tentýž bod přímou čarou, přidruží se, jak přirozeno, vždy výsledek jedné síly k výsledku druhé síly, a jelikož se vždy výsledek tak velký mysliti musí, jako jest síla sama, bude celistvý výsledek tak velký, jako všecky upotřebené síly dohromady. Vyznačíme-li na př. (obr. 10.) přímkou AB sílu P = 3 lib. a přímkou AC sílu Q = 4 lib., bude výslednice jejich V = AB + AC = P + Q, a jelikož AD tak velké jest jako AB a AC dohromady, jest V = AD, tedy zde 3 lib. + 4 lib. =

Obraz 10.



7 lb. *) Jestiť to asi tak, jakoby síla P postačovala svou velikostí nějakou hmotu z bodu A do B, t. j. o tři, síla Q pak z bodu B do D, t. j. o čtyry dílky dále dovésti, tak že se předmět, když síly na něj působiti přestaly, v D, t. j. o 7 dílků dále nachází, vykonav při tom účinek znázorněný dráhou tak velký jako obě dvě síly dohromady. Z toho vysvítá, že výsledek právě takový jest, jakoby jen jedna síla velikosti AD = 7 lb. byla působila, a že tedy AD výslednici jejich znázorňuje. Táhnou-li na př. tří za provaz, z nichž by první silou 20 lb., druhý silou 30 lb. a třetí silou 40 lb. účinkoval, jest to tolik, jakoby jen jeden silou 20 lb. + 30 lb. + 40 lb. = 90 lb. působil. *Z toho následuje, že součet všech v takovémto případu upotřebených sil velikost výslednice jejich ustanovuje.* Že tato výslednice působiště a směr tentýž míti musí jako upotřebené síly, vysvítá samo sebou.

Hledí-li se jen na výsledek, jest přirozeno, že také každou sílu za výslednici více v témž směru na jeden bod působících sil považovati, tedy místo ní i více jiných sil klásti čili každou sílu na několik jiných rozložiti můžeme, které by v tomtéž směru působily. Tak na př. je-li dána síla S = 7 lb., mohou místo ní působiti dvě: 4 lb. + 3 lb. = 7 lb., aneb i tři síly: 4 lb. + 2 lb. + 1 lb. = 7 lb., aniž by se výsledek zjinačil. Dobřeť víme, že na př. více lidí provazem totéž utáhne, co na něm dříve táhnul kůň, a že i naopak k vozu koně zapřahámě, aby táhnul, co dříve více lidí bylo tlačilo.

17. Jinak to vypadá, pakli síly takovým směrem nepůsobí, jakým se účinek jejich jeviti má, čili vůbec, jestli v rozličných směrech působí. Jednoduchý příklad toho se nám ob-

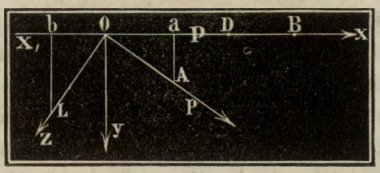
---

*) Aby se krátce vyznačilo, že se více veličin v jeden celek shrnouti čili *sečísti* má, postaví se mezi ně stojatý křížek (+), tak že na př. 4 + 3 = 7 znamená: čtyři *více* tří se vyrovnává sedmi čili dělá dohromady sedm. Takléž jest 3 + 4 + 5 = 12 a t. d.

Kdyby se však vyznačiti mělo, že se jedna od druhé, na př. tří od čtyr *odečísti* mají, klade se za tu, od které se toto odečtění státi má, ležalá čára (—). Tak na př. 4 — 3 = 1 znamená: čtyři *méně* tří dá jednu, čili dle školského zvyku: tří od čtyr zbude jedna.

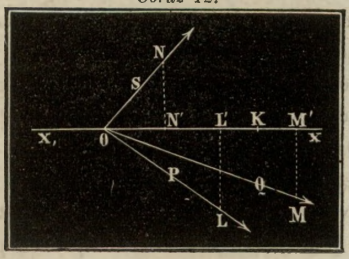
jeví, považíme-li sílu, která ku podpoře nějaké jiné sloužiti má. Z hořejšího (12.) vysvítá, že se podpora tato jen takým dílem velikosti upotřebené síly jeviti bude, jaký do směru žádaného účinku padá. Podpora bude následovně tím větší, čím více směry obou sil souhlasiti budou, a naopak. Má-li na př. síla p = OA (obr. 11) podporovati sílu P ve směru jejím Ox, obdržíme podporu velikosti Oa, když se z A vede Aa kolmo na směr dané síly Ox. Je-li OD velikost síly P, obdržíme výsledek čili výslednici obou: V = OD + Oa, a udělá-li se DB = Oa, nabývá výslednice velikosti OB. Druhý účinek síly p, kteryby se odchýlením od směru xx, u velikosti Aa jevil, působnost dané síly P, která ve směru x,x účinkuje, ani nezvětšuje ani neruší, jest tedy beze všeho výsledku ve směru xx', síle P následovně lhostejný a proto i zbytečný.

Obraz 11.



Podobně se snadno i účinek více sil vyznačí, když všecky toliko jedné sloužiti, t. j. ji podporovati mají. Kdyby se na př. ku podpoře nějaké síly R = OK (obr. 12) i síla P, Q a S upotřebila, kdyby na př. více lidí vozík, kteryby se dráhou x,x pohybovati musil, provazem P, Q a S táhlo, účinkovala by v tomto směru síla P = OL částí OL', síla Q = OM částí OM', síla S = ON částí ON', tak že výslednice čili výsledek jich celistvý by byl V = OK + OL' + OM' + ON' *).

Obraz 12.



*) Vyznačí-li se odchylka směru sil P, Q a S od směru xx', ve kterém síle R pomáhati, tedy vůbec účinkovati mají, potažmo úhlem α, β, γ, jest účinek jejich v tomto směru $P \cos \alpha$, $Q \cos \beta$ a $S \cos \gamma$, a vezme-li se k tomu ještě plný účinek síly R, jest pak celistvý výsledek jejich v tomto směru $V = R + P \cos \alpha + Q \cos \beta + S \cos \gamma$. Vše-

Konečně není ani potřebí nějaké skutečné dráhy xx' ani síly, která by v tomto směru působila; než postačuje také jen otázka, jaký účinek více rozličnými směry na tentýž bod působících sil v nějakém určitém daném směru poskytuje, abychom si směr tento co pevnou dráhu představili, na které se účinek všech sil jeviti má. Tak bychom se mohli na př. tázati, jak silně se předmět (obr. 6) tyčí AD k podlaze přitlačuje, ať se pak již zároveň po této ploše pohybuje aneb za jakoukoli příčinou z místa hnouti nemůže. Jednalo by se zde vlastně o účinek ve směru kolmém, který velikostí CA vyznačen jest, když se velikost upotřebené síly délkou AD zobrazuje, k čemuž se ještě váha hmoty co síla druhá připočísti musí, tak že kolmý tlak součtu obou kolmých sil čili výslednici jejich se vyrovnává. Jako v 12. mohli bychom i zde dále o účinku síly rozumovati, kdyžby se směr tyče měnil.

Již shora (12.) bylo viděti, že síla tím méně účinkuje, čím více směr její se odchyluje od směru, ve kterém se účinek jeviti může. Z toho následuje, že i její podpora tím menší bude, čím více se od směru odchýlí, ve kterém jinou sílu podporovati má. Nebo odchyluje-li se na př. síla p (obr. 11.) vždy více od směru xx_1, bude účinek její v tomto směru vždy menší, až konečně ve směru Oy zcela zmizí a na sílu P žádného vlivu míti nebude. Odchyluje-li se však síla p ještě více, počne opět účinkovati, *ale ve směru protivném*, tak že na př. ve směru Oz účinek její velikosti Ob nabude a stále ho přibývá, až směr této síly p v Ox, síle P zcela protivným se stane, čímž se zdánlivě zcela nový případ působnosti sil objeví, t. když síly v protivném směru na tentýž bod působí.

---

obecně jest výsledek více sil p ve směru, od kterého se úhlem α odchylují,

$V = p_1 \cos \alpha_1 + p_2 \cos \alpha_2 + p_3 \cos \alpha_3 + p_4 \cos \alpha_4 + \ldots = \mathbf{S}.p \cos \alpha$,

t. j. *algebraický součet projekcí jejich na tento směr.*

Velikost zmařeného účinku ve směru kolmém na daný směr jest ve svrchu uvedeném příkladu

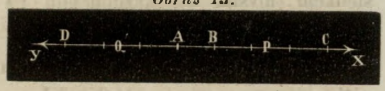
$U = P \sin \alpha + Q \sin \beta + S \sin \gamma$, a všeobecně by bylo

$\mathbf{U} = p_1 \sin \alpha_1 + p_2 \sin \alpha_2 + p_3 \sin \alpha_3 + p_4 \sin \alpha_4 + \ldots = \mathbf{S}.p \sin \alpha$

kde **S** zase algebraický součet vyznačuje.

18. Jsou-li to jen dvě síly, které v přímé čáře na tentýž bod ve směru protivném působí, jest patrno, že jedna síla celou svou velikostí rušiti musí výsledek síly druhé. Působí-li na př. ve směru x (obr. 13) síla P = AC = 4 lb., ve směru y síla Q = AD = 3 lb., nebude výsledek jiný, než jakoby jen síla = 1 lb. byla působila, t. j. síla = 4 lb. — 3 lb., poněvadž se 3 lb. síly P zruší silou Q. Jest to asi tak, jakoby účinek síly P v tom záležel, aby hmotu jakousi z A do C dovedla, kterou pak síla Q zase ve směru y, tedy zpět (o tři) do B dopraví, tak že výslednice konečný výsledek takový jest, jakoby jen síla velikosti AB byla působila, tedy V = AB = AC — AD = 4 — 3 = 1. Z toho vysvítá, že výsledek v tomto případu o to menší jest než síla větší, co na ní síla protivná menší zrušiti dovedla, že se tedy velikost výslednice rozdílem velikostí upotřebených sil vyznačuje. Z toho následuje, že se výslednice čili výsledek tím menší stává, čím více se síla Q zvětšuje, tak žeby konečně výslednice zcela zmizela, kdyby se síla Q síle P vyrovnala, t. j. kdyby Q = P bylo. Zvětší-li se ještě více síla Q, tak žeby pak větší byla než síla P, objevil by se výsledek ve směru síly Q, poněvadž větší jest, tedy do y. Odtud patrno, že výslednice vždy směr síly větší míti musí.

Obraz 13.



Působí-li však na obou stranách zároveň více sil, možno si z nich utvořiti na každé straně jednu výslednici, tak že se konečně jen dvě síly v protivném směru objeví, z nichž se právě zmíněným spůsobem snadno ustanoviti dá výslednice konečná, která pak jest výsledkem všech upotřebených sil. *)

*) Počtář přichází kratší cestou k výsledku. On vyznačuje síly působící v jednom směru znaménkem +, síly však působící ve směru protivném znaménkem — a výslednice všech v rovně na nějaký bod působících sil se pak vyrovnává algebraickému součtu jejich. Vyznačí-li se tyto síly všeobecně písmenem p, a výslednice jejich písmenem V, obdržíme

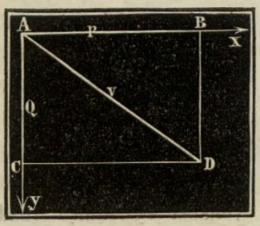
$V = p_1 \pm p_2 \pm p_3 \pm p_4 \pm \ldots$ čili krátce algebraicky

$V = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + \ldots = \mathbf{S}.p$, kde $\mathbf{S}$ algebraický součet všech upotřebených sil vyznačuje. Z počtu povstalý znak výslednice ukazuje směr její, tak že je-li na př. $V = +$, výslednice v tom směru se objevuje, ve kterém se síly znaménkem + vyznačovaly a naopak.

Jako z každého i sebe většího množství sil složením jich jen jediná povstává, tak možno zase místo jedné síly vždy libovolný počet si jich v obou protivných směrech s tímtéž výsledkem mysliti čili každou sílu na libovolný počet složek i ve směrech protivných rozkládati.

19. Jestli se však účinek sil *v každém směru volně jeviti může*, namítá se otázka, jak se v tomto případu výslednice jejich ustanoviti dá. Působí-li na bod A (obr. 14) síla P a Q ve směru kolmém, neobjeví se účinek

Obraz 14.



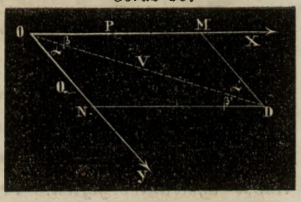
směrem x, poněvadž jej síla Q od tohoto směru vzdalovati bude; on se ale také neobjeví směrem y, protože síla P jinam účinkuje. Účinek plný síly P dá se znázorniti vzdálením, které by se ve směru x u velikosti její AB od směru y co nějaké pevné stěny stalo. Účinek plný síly Q žádal by taktéž vzdálení ve velikosti její AC od směru x, tak že kdyby hmota proběhnutím nějaké dráhy účinek obou sil t. j. výsledek jejich působnosti uskutečniti měla, na konec by se v bodu D octnouti musila. Bod tento činí oběma požadavkům zadost, když od směru y o CD = AB tedy tak vzdálen jest, jako to velikost síly P žádá, a od směru x také o BD = AC současně se vzdaluje, což co účinek síle Q přináleží. Postupně by se tedy nacházel pře dmět v rozličných bodech příčné AD, poněvadž každý bod její s přináležejícím a dráhou poměrně vyznačeným účinkem postupně upotřebených sil napořád souhlasí. Jelikož by se výsledek tento také objeviti musil, kdyby se toliko síly V ve směru a velikosti AD k tomu bylo upotřebilo, jest patrno, že průsečná AD = V směr i poměrnou velikost výslednice sil P a Q vyznačuje. Byla-li velikost sil P a Q dle měřítka zobrazena, dá se dle téhož měřítka i velikost výslednice jejich ustanoviti.

Z věci samé vysvítá, že se i naopak každá buďsi jakákoli síla za výslednici dvou jiných kolmo na sebe působících sil považovati, tedy i v takovýchto směrech zmíněným spůsobem do dvou jiných rozložiti dá. Nebo kdyby na př. naopak síla V ve

velikosti AD dána byla, mohla by se rozložiti na dvě složky P a Q, jichž velikost by se nám dle též míry délkou AB a AC znázornila. Rozklad tento se z přirozenosti věci nahoře (12. a 13.) sám již z části objevil, když se stanovilo, jaký účinek síla na nějaké určité dráze má. Jasně nám to ukazují právě tam obrazem 4. 6. a 8. znázorněné příklady.

Důležitá jest otázka, jak se výsledek čili výslednice dvou sil, které v jiných *zcela dovolných* směrech na tentýž bod působí, ustanoviti dá, když se účinek obou dvou v plné velikosti jejich jeviti může, tedy na žádný určitý směr vázán není. Představíme-li si k tomuto účelu dvě síly (obr. 15) a sice P ve směru Ox a Q ve směru Oy, vysvítá z hořejšího (11.), že účinek těchto sil již přijatou velikostí jejich OM a ON vyznačen jest. Účinek síly P znázorní se vzdálením OM v šikmém směru jejím Ox od směru Oy, a účinek síly Q objeví se vzdáleností ON také v šikmém směru této síly Oy od směru Ox. Přirozeno, že se vzdálení toto v obou dvou případech vždy v daném směru sil t. j. v takovém směru brátí musí, v jakém síly působí, poněvadž každá síla celou svou velikostí účinkovati má, z čekož následuje, že by se na př. při skutečném pohybování hmota také v takovém směru vzdalovala, v jakém síly působí. Ustanoví-li se účinek obou sil vzdáleností ON od směru Ox a vzdáleností OM od směru Oy, musí se konečný výsledek při povšechně volném působení jejich nutně v bodu D octnouti čili bodem D ukončiti, který v zmíněných směrech vzdálenost $DM = NO$ od Ox a $DN = MO$ od Oy zároveň vyznačuje. Z toho jest patrno, že velikost výsledku čili výslednice obou dvou sil příčnou OD vyznačena jest, která ve všech svých částech čili bodech požadavkům obou sil současně zadost činí, t. j. od směrů obou sil se zároveň poměrně vzdaluje.

Obraz 15.



Jelikož pro výsledek jedno jest, zdali síly současně aneb po sobě účinkují, má se to s výsledkem právě tak, jakoby se velikost jeho proběhnutím dráhy vyznačovala; nebo síla P by

napřed žádala proběhnutí dráhy OM, a síla Q pak proběhnutí dráhy ON čili MD, když MD směrem i velikostí se vyrovnává zmíněnému ON, tak že by se bodem D výsledek obou ukončil. Podobně bychom tentýž výsledek obdrželi, kdyby se napřed účinek síly Q v bodu N ukončil a odtud pak teprv síla P ve svém směru, tedy rovnoběžně s Ox do D účinkovala, kdeby se konečný účinek obou dvou objevil. Rozumí se samo sebou, že ND tentýž směr a tuléž velikost míti musí, jako OM. Z toho následuje, že výsledek upotřebení těchto dvou sil jiný není, než jakoby jen jedna síla velikostí OD sama o sobě byla působila, tak že OD směr i poměrnou silám velikost výslednice V vyznačuje, která, jak přirozeno, v témž bodu O své působiště má.

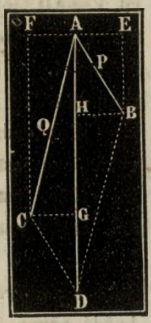
20. Jak viděti jest, objevil se z pochodu tohoto obrazec OMDN, jehož protilehlé strany sobě se vespolek vyrovnávají a rovnoběžné jsou, nazvaný rovnoběžník *(parallelogram)*. Strany tohoto rovnoběžníka vyznačují tedy dle jisté míry, *poměrné velikosti sil*, a průsečnice jeho OD představuje *v téžé míře velikost výslednice jejich*. Proto se nazývá také tento měřický obrazec *rovnoběžník sil*. Jelikož vždy v rovnoběžníku MD = ON = Q jest a $\sphericalangle \alpha = \alpha'$, $\sphericalangle \beta = \beta'$ se vyrovnává, vysvítá, že se všecky tyto tři síly i s úhly, kterými se směry jejich vyznačují, také v trojúhelníku $\triangle$ OMD a v $\triangle$ OND nalezají, který se za touto příčinou *trojúhelník sil* nazývá. Jestiť pak v takovémto trojúhelníku OM : MD : OD = P : Q : V, t. j. velikost stranic jeho v takovém poměru, v jakém jsou vespolek síly samy. Z toho následuje, že, aby skládání sil se ustanovilo a zobrazilo, ani rovnoběžníku tvořiti netřeba, *poněvadž již trojúhelník k tomu postačuje.**)

---

*) Pravost věty této se snadno na základě věty předešlé objeví. Vyznačíme-li totiž stranici AB (obr. 16) sílu P a stranici AC sílu Q, obdržíme, když si z těchto dvou stran rovnoběžník ABDC utvoříme, výslednici jejich ve směru a ve velikosti průsečnice jeho AD. Nebo vedeme-li FE $\perp$ AD a rozložíme dle předešlého sílu P ve dvě na sebe kolmo působící síly velikostí AE a AH a podobně Q do AG a AE, ukáže se hned, že AF = AE, protože v rovnoběžníku CG = BH. Poněvadž

Považíme-li, že se ve svrchu zmíněném případu z poměrně vyznačených velikostí sil a výslednice jejich vždy rovnoběžník skládá, vysvítá z toho též opačně, že se v rovnoběžníku, který z poměrných velikostí sil a směrů jejich sestrojen jest, vždy výslednice jejich aneb ze známé výslednice i také složky této v poměrné velikosti a v podobě jednotlivých částí rovnoběžníka objevují. Kdyby naopak síla AD (obr. 16.) dána byla a stranice AB a AC tak se k ní sestrojily, aby se tím rovnoběžník utvořil, mohlo by se AD považovati za výslednici a AB a AC za složky její. Místo AC postačovalo by také jemu rovné BD, aby se trojuhelník sil ABD objevil. Působí-li na př. ve směru Ax

Obraz 16.



složky AE a AF ve směru protivném působí, vysvítá již, že potom jen účinek ostatních složek AH + AG vybývá. Jelikož však AG = HD, jest také AH + AG = AH + HD = AD = V, t. j. účinek čili výslednice na bod A volně působících upotřebených sil P a Q

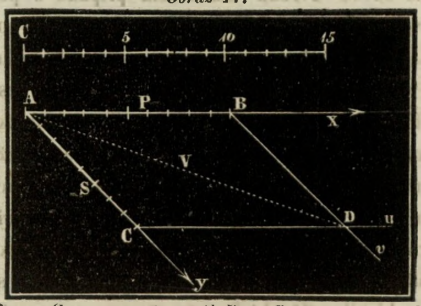
Tvoří-li směry upotřebených sil úhel α, tak že $(PQ) = \sphericalangle \alpha$, směr síly P však s výslednicí úhel ε, tedy $(PV) = \sphericalangle BAD = \sphericalangle \varepsilon$, obdržíme dle známých vět trigonometrických souvislost těchto daných veličin v následujících výrazech:

$$P = V\frac{\sin(\alpha-\varepsilon)}{\sin\alpha},\quad Q = V\frac{\sin\varepsilon}{\sin\alpha},\quad V = \sqrt{(P^2+Q^2+2PQ\cos\alpha)}$$

$$\cos\varepsilon = \frac{P+Q\cos\alpha}{V},\quad \cos(\alpha-\varepsilon) = \frac{Q+P\cos\alpha}{V} \text{ a } \operatorname{tang}\varepsilon = \frac{Q\sin\alpha}{P+Q\cos\alpha}.$$

Je-li $\alpha = 90°$, objeví se hořejší případ $P = V\cos\varepsilon$, $Q = V\sin\varepsilon$ a $V = \sqrt{P^2+Q^2}$. Z toho následuje, že výslednice tak přibývá a ubývá jako složek jejích. Pro směr jest $tang\,\varepsilon = \frac{Q}{P}$ a t. d., z čehož jasně vysvítá, že směr výslednice nikoli od absolutní velikosti složek jejích, nýbrž toliko od *poměru* jejich $\left(\frac{Q}{P}\right)$ závisí. Podobně se z všeobecných těchto výrazů i jiné zvláštní případy vyvoditi dají, na př. když $\alpha = 120°$, $\alpha = 60°$, $\alpha = 45°$, $\alpha = 30°$ a t. d. Taktéž by povstaly zvláštní úlohy, kdyby se pro ε rozličné veličiny do svrchu uvedených výrazů přijímaly.

Obraz 17.



(obr. 17) síla P=10 a ve směru Ay síla S=8, třeba jen v těchto směrech dle nějakého měřítka C sestrojiti poměrné velikosti jejich AB=10 a AC=8 a vésti z bodu B a C potažmo rovnoběžné Bv a Cu se směry sil P a S čímž rovnoběžník povstane. Povstalý tím společný bod D vyznačuje ukončení výslednice obou sil V=AD, jejíž velikost se dle též míry na měřítku ustanoviti může. Z hořejšího vysvítá, že všecko, co zde o rovnoběžníku řečeno bylo, i o trojuhelníku platiti musí, poněvadž všecky částky rovnoběžníku v sobě obsahuje.

Poněvadž se vždy z dvou stran, jimiž poměrná velikost sil vyznačena jest, ať působí v jakémkoli úhlu, rovnoběžník sestrojiti může, jest patrno, *že se i vždycky dvě síly složiti dají, t. j. sestrojením rovnoběžníku dá se vždycky ustanoviti působiště, směr a poměrná velikost výslednice sil, které stranicemi jeho v poměrné velikosti vyznačeny jsou.* Poněvadž také opáčně každá přímá čára, která poměrnou velikost nějaké síly vyznačuje, průsečnou rovnoběžníku býti může, jest patrno, že se i síla, která touto přímkou vyznačena jest, za výslednici jiných dvou považovati dá, jichž poměrná velikost se ve stranách na ní utvořeného rovnoběžníku aneb kratšeji ve stranách z nich utvořeného trojúhelníku objevuje. Z toho následuje, *že se také každá síla ve dvě jiné na týž bod působící síly rozložiti dá.*

21. Jelikož se buď určité směry bráti mohou, aby se náležitá jim velikost sil ustanovila, buď takové směry vyhledávati, v nichž by se sil určité velikosti upotřebiti mohlo, naskytuje se takovýmto skládáním a rozkládáním sil množství úloh, k jichž obecnému rozluštění již zmíněného měřítka a úhloměru zapotřebí jest, aby se vždy poměrná velikost síly a směr její vyznačiti dal.

Přirozeně musí se síly vždycky tak rozkládati, aby se tím směr objevil, ve kterém výsledek jejich pozorovati chceme. Druhá složka musí pak nutně takovým směrem jíti, ve kterém síla na žádaný výsledek vlivu míti nemůže, kterýž tedy z pozorování vypadává a pro účely naše takřka mizí. Z toho následuje samo sebou, čeho se držeti jest, a čeho se nám všímati třeba není, jedná-li se o účinek sil buď si v jakémkoli případu. Sestrojí-li se dle těchto pravidel z podaných částí nějaké úlohy rovnoběžník aneb trojúhelník, objeví se vždy i ostatní neznámé částky její, tak že pak sblíženě velikost sil měřítkem a směr jejich úhloměrem určen býti může. *) Pozorujeme-li na tomto základě již svrchu zmíněné úlohy, shledáme, že se nahoře (obr. 6) upotřebená síla rozložila ve dvě jiné, z nichž jedna BA ve směru působí, kde účinek možný jest, a druhá CA ve směru, kde se každý účinek ruší. Podobně pozorujeme, že se na obraze 7. působení síly AC rozkládá ve dvě složky, z nichž jedna AB směrem Ay hmotu táhne, druhá BC ji do výšky zvedá. Působení síly CD (obr. 8) se rozstupuje ve dva účinky, z nichž jeden u velikosti CB loď nahoru táhne, druhý u velikosti CA ji k břehu tlačí, a odporem vody po celé délce lodi se ruší. Mimo tyto můžeme pomocí měřítka rozlušťovati ještě následující úlohy:

---

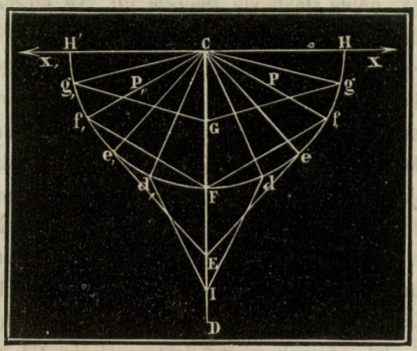
*) Ačkoli *geometrické sestrojování* úloh daleko té *určitosti* neposkytuje, jako jich *vypočítávání*, nicméně jest přece velmi prospěšné, poněvadž věci názorně před oči staví a tím výsledky počtářské objasňuje a od chyb chrání, tak že se návodu tohoto vždy s prospěchem upotřebiti dá, aby se jím výsledky počtářské přezkoušely. Počtář však přenáší všecky zde možné případy do trojúhelníka a tvoří z toho čistě mathematickou úlohu, aby pak k rozluštění jejímu všech vět a obratů užíti mohl, jakých k tomu *trigonometrie* předpisuje a vůbec poskytuje. Dle toho jest (obr. 15.)

$P = V\frac{\sin\alpha}{\sin(\alpha+\beta)}$, $Q = V\frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}$; a je-li $\alpha+\beta = 90$, jest $P = V\sin\alpha$, $Q = V\sin\beta$ a t. d.

Svrchu zmíněné úlohy daly by se na tomto základě určitěji a přesněji následujícím způsobem rozluštiti:

a. Dvě sobě rovné síly, jichž velikost poloměrem kruhu (obr. 18) vyznačena jest a tedy se nemění, mají se složit, t. j. má se ustanoviti výslednice jejich. Namítá se především otázka, jakým směrem tyto síly působiti mají? — Abychom vliv směru upotřebených sil na velikost výslednice náležitě sobě znázornili, použijmež k tomu rozličných směrů sil, kteréž se však od směru výslednice CD stejně odchylují. Působí-li zprvu upotřebené síly P a P′ v témž směru CD, bude výslednice jejich rovna součtu obou dvou, tedy, je-li FD = CF, jest V = CD. Působí-li však ve směru Cd a Cd′, bude CI průsečnou povstalého z nich rovnoběžníka, tedy i poměrná velikost výslednice jejich. Odchýlí-li se směry tyto více od sebe, tak že síly již ve směru Ce a Ce′ působí, bude CE poměrnou velikostí výslednice. Působením sil ve směru Cf a Cf′ povstane výslednice CF, a ze směru Cg a Cg′ jest výslednice CG. Jednoduchý pohled na povstalý obraz tento již ukazuje, že se výslednice tím menší

Obraz 18.



---

a. vyznačí-li se výslednice písmenem V a úhel, ve kterém síla P a P′ působí, písmenem α, jest dle známé trigonometrické věty, jelikož se v tomto případu směrem výslednice úhel α půlí,

$$V : P = \sin(180 - \alpha) : \sin\frac{\alpha}{2} = \sin\alpha : \sin\frac{\alpha}{2}, \text{ z čehož}$$

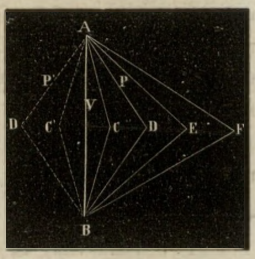
$$V = P\frac{\sin\alpha}{\sin\frac{\alpha}{2}} = P\frac{2\sin\frac{\alpha}{2}\cos\frac{\alpha}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}} = 2P\cos\frac{\alpha}{2} \text{ povstane. Podkládáme-li}$$

úhlu α rozličnou hodnotu *(platnost)*, shledáme i pro výslednici rozličné hodnoty. Co se v hořejším příkladě teprv rozvláčným rejso-

stává, čím více se směry složek jejich od sebe odchylují. Zprvu jest výslednice rovna součtu obou sil, pak jest větší než každá jednotlivá upotřebená síla; jak úhel roste, počne jí ubývati, až se vyrovnává síle, totiž $CF = Cf \leqq Cf' = P$, dále stane se i menší než upotřebená síla $Cg < P$, až konečně zcela zmizí, když síla P ve směru CH a síla P′ ve směru CH′, tedy protivně působí.

b. Jako jsme z dvou v rozličných úhlech působících sil vždy výslednici tvořili, tak možno každou sílu ve dvě složky rozkládati, které v rozličných úhlech působí. Je-li velikost síly, která se rozložiti má, vyznačena délkou AB (obr. 19), třeba ji považovati za průsečnou rovnoběžníka aneb, jelikož všecko i v trojúhelníku sil obsaženo jest, za stranici trojúhelníka. Tak se rozkládá síla AB v AC a AC′, v AD a AD′ a pak v AE a EB, v AF a FB a t. d.; neboť vynechaná levá stranice AE′ a AF′ jest právě tak velká, jako stranice protilehlá EB a FB, která s dvěma ostatními trojúhelník ABE a ABF tvoří. Z tohoto příkladu

Obraz 19.



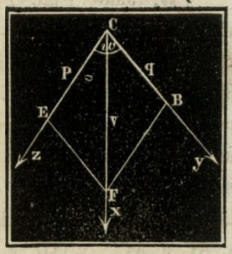
---

váním objevuje, to se z počtu onoho hned vyskytne, považíme-li, že hodnota $\cos\frac{\alpha}{2} = +1 \ldots 0 \ldots -1$ jest. Velikost výslednice může tedy obnášeti 2P, odkudž jí ubývá, až konečně zcela mizí. Ano jelikož dalším postupem $\cos\frac{\alpha}{2}$ i do $\ldots -1$ přechází, nabývá výslednice protivného směru, tak že se i $V = -2P$ stává. Výraz tento nám tedy ukazuje ještě více, nežli znázorněno jest, totiž i všecky případy, když síly mimo směr xx, působí. Celkem tedy jest: $V = +2P \ldots 0 \ldots -2P$. Poněvadž se ve všech případech zmíněného příkladu P nemění, jest velikost výslednice vždy odvislá *jen od úhlu* α, t. j. $V = f(\alpha)$.

b. V předešlém příkladu se výslednice měnila, síly však zůstávaly nezměnlivé, nyní se to má naopak: výslednice se nemění a síly, do kterých se rozpadává, nabývají rozličné velikosti. Vyznačíme-li i zde výslednici písmenem V, a úhel, ve kterém složky její $P = P'$ působiti mají, písmenem α, jest dle též věty

jasně vysvítá, že složky tím větší býti musí, čím se úhel jejích větším stává, až se konečně tak zvětší, že každá jednotlivá složka tak velká aneb i větší jest, než výslednice obou dvou. Jelikož jedna stranice trojúhelníka vždy menší jest, než obě dvě druhé dohromady, vysvítá, že i výslednice dvou na týž bod působících sil vždy menší býti musí, než součet obou upotřebených sil.

Obraz 20.



c. Chceme-li z dvou daných sil p a q (obr. 20), jichž poměrná velikost stranama CE a CB vyznačena jest, výslednici V určité velikosti CF míti, kteráž ovšem menší býti musí než p a q dohromady: třeba z nich jen utvořiti trojúhelník BCF, abychom si znázornili, v jakých směrech síly pro tento případ na bod C působiti musí.

Mají-li se složit dvě sobě rovné síly, které v úhlu 120° na týž bod působí, tak že by tedy na obraze 20. $p = q$ a

---

$P : V = \sin\frac{\alpha}{2} : \sin(180-\alpha) = \sin\frac{\alpha}{2} : \sin\alpha$, z čehož

$$P = V\frac{\sin\frac{\alpha}{2}}{\sin\alpha} = \frac{V}{2\cos\frac{\alpha}{2}} \text{ povstane.}$$

Jelikož $\cos\frac{\alpha}{2} = +1 \ldots 0 \ldots -1$, nabývá tím i P přiměřené hodnoty, totiž $P = +\frac{1}{2}V \ldots \infty \ldots -\frac{1}{2}V$, z čehož zase jasně vysvítá, že $P = f(\alpha)$.

c. Je-li síla $p = q$ (obr. 20.) a úhel směru jejich vyznačen písmenem ω, jest dle jiné věty trigonometrické $CF^2 = BF^2 + CB^2 + 2.BF.CB\cos\omega$ a vloží-li se tam hodnoty stranic těchto

$V^2 = p^2 + q^2 + 2pq\cos\omega = 2p^2 + 2p^2\cos\omega = 2p^2[1+\cos\omega]$ a jelikož $1+\cos\omega = 2\cos\frac{\omega^2}{2}$, jest $V^2 = 4p^2\cos\frac{\omega^2}{2}$ čili $V = 2p\cos\frac{\omega}{2}$, jak to již také v předešlém příkladu bylo. Je-li $\measuredangle\omega = 120°$, tedy $\frac{\omega}{2} = 60°$, jest $\cos\frac{\omega}{2} = \cos 60° = \frac{1}{2}$ a $V = p$; je-li $\omega = 90°$, jest $\frac{\omega}{2} = 45°$ a

$\measuredangle \omega = 120^0$ byl, třeba jen utvořiti rovnoběžník, jehož průsečná CF velikost výslednice znázorňuje. Porovná-li se velikost této výslednice s velikostí sil upotřebených, ukáže se, že výslednice právě tak velká býti musí, jako upotřebené síly, z čehož vysvítá, že v tomto případu v trojúhelníku BCF všecky strany sobě rovny budou. Podobně bychom mohli tvořiti výslednici, kdyby síly tyto v úhlu 60°, 90° aneb v jakémkoli jiném působily.

d. Kdyby síla $p = 3$ a síla $q = 4$ byla a obě síly v úhlu 90° k sobě působily, objevilaby se sestrojením rovnoběžníka výslednice $CF = 5$. Podobně bychom obdrželi výslednici $CF = 4$, kdyby $p = 3$ a $q = 2$ a v úhlu 75° na týž bod působily. Rozumí se samo sebou, že by se i ještě více úloh podobným spůsobem rozluštiti dalo, kdyžby toho potřeba se naskytovala.

e. Jak silně tlačí na saních naložená hmota (viz obr. 7.) na podlahu, váží-li hmota 100 lb. a je-li síla P, která na ni v úhlu 30° působí, 20 lb. velká? — Znázorníme-li dle měřítka v náležitém směru sílu P velikostí AC, povstane váze hmoty protivná síla CB, která ji svou velikostí ruší. Ustanoví-li se na měřítku velikost účinku CB, objeví se tlak na podlahu jen velikostí (100—CB) lb. Podobně by se dalo ustanoviti, jak velká

$\cos 45^0 = \frac{1}{2}\sqrt{2}$, tedy $V = p\sqrt{2} = 1{\cdot}414 \ldots p$; je-li $\omega = 60^0$, $\frac{\omega}{2} = 30^0$, a jelikož $\cos 30^0 = \frac{1}{2}\sqrt{3}$, jest $V = p\sqrt{3} = 1{\cdot}732 \ldots p$, a t. d.

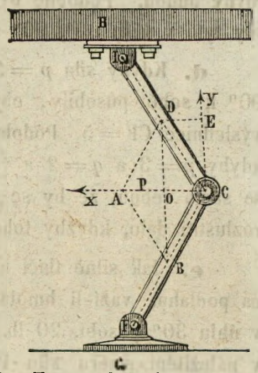
d. Dle též věty $V^2 = p^2 + q^2 + 2pq\cos\omega$ jest pro zmíněný příklad $V^2 = 3^2 + 4^2 + 2.3.4.\cos 90^0 = 25$, následovně $V = 5$. Podobně by bylo $V^2 = 2^2 + 3^2 + 2.2.3\cos 75^0 = 13 + 12\sin 15^0$. Poněvadž $\sin 15^0 = 0{\cdot}258819$, a $12.0{\cdot}258819 = 3{\cdot}105828$ jest $V = \sqrt{13 + 3{\cdot}105828} = \sqrt{16{\cdot}105828} = 4$. Jelikož věta tato čtyry veličiny obsahuje, dají se za pomocí její i čtyry rozličné úlohy rozluštiti, protože každá z těchto čtyr neznámou býti může, kdežto ostatní tři dány jsou. Tak by se ustanovila každá složka aneb úhel, ve kterém by známé síly působiti musily, aby se nějaká výslednice určité velikosti vyvodila.

e. Jelikož $CB = AC\sin BAC = P\sin\alpha$ kolmo nahoru, váha hmoty W však kolmo dolů působí, vyznačí se tlak T na podlahu všeobecně rozdílem těchto dvou sil t. $T = W - P\sin\alpha$, z čehož se nové úlohy objevují.

ta síla bude, kteráž by v daném úhlu tlak hmoty zcela, od polovice anebo jakkoli jinak rušila. Konečně i v jakém úhlu by působiti měla, aby buď všecken tlak zmizel aneb nějaká část jeho se zrušila, a t. d.

f. Příklad praktického upotřebení takového rozkladu sil vidíme na tak zvaném *kolenu* (obr. 21). H jest pevná podpora, o kterou se koleno v ose I dostatečně opírati může, F plotna, která tlakem na podložený předmět G působiti má. Celý stroj jest pohybný v osách I, C a F. Působí-li na koleno síla P = CA směrem Cx, rozloží se účinek její do dvou jiných CB a CD ve směru ramen. Jelikož se však pravidelně toliko účinek ve směru kolmém DB upotřebiti dá, rozstoupí se účinek CD v CO a CE, z nichž jen CE záměrům kolena slouží. Totéž platí i o druhé

Obraz 21.



Tak se můžeme tázati, jak velká síla P se upotřebiti musí, aby hmota tato podlahu nijak netlačila, t. j. aby $T = 0$, následovně $W = P \sin \alpha$ bylo. Dle toho musí $P = \frac{W}{\sin \alpha}$ býti. Je-li $P > W$, může se také ustanoviti, v jakém úhlu známá síla P působiti musí, aby tu žádného tlaku nebylo. Jestliť tu $W = P \sin \alpha$ a $\sin \alpha = \frac{W}{P}$. Taktéž by se i úhel ustanoviti mohl, kdyby tlak $\frac{1}{2}W$, $\frac{1}{3}W$ aneb i jakoukoli jinou velicinu obnášeti měl.

f. Velikost účinku dá se snadno způsobem gonyometrickým vypočítati. Jelikož se upotřebená síla P za výslednici dvou sobě rovných složek CD a CB považovati může, jest (dle c.) pro tento případ $P = 2S \cos \frac{\omega}{2}$, když $S = CD = CB$ a $\sphericalangle BCD = \omega$, z čehož $S = \frac{P}{2 \cos \frac{\omega}{2}}$.

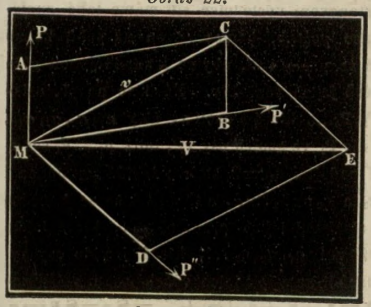
Tlak $BO = T$ jest však $T = \frac{P}{2 \cos \frac{\omega}{2}} \sin \frac{\omega}{2} = \frac{1}{2} P \operatorname{tang} \frac{\omega}{2}$, a jelikož se účinek tento ještě jedenkráte složkou DO opakuje, jest působnost síly P v tomto směru $= P \operatorname{tg} \frac{\omega}{2}$, z čehož následuje, že $T = f(\omega)$, t. j. že velikost tlaku od úhlu ω odvislá jest.

složce CB upotřebené síly, čímž se nám v tomto směru DO a OB, tedy celkem DB co velikost účinku upotřebené síly P ve směru kolmém na koleně objevuje. Jelikož dle předešlého (b.) složky tím větší jsou, čím úhel větší jest, ve kterém se působnost jejich jeviti má, vysvítá, že kolenem tím většího tlaku docílíme, čím více se poloha ramen jeho přímé čáře sblíží. Z porovnání vzdálenosti podpory H od G s délkou obou ramen jde, že koleno jen o to hloub postoupiti může, oč délka zpřímených ramen vzdálenost H od G převyšuje.

Zvláště v dřívějších dobách užíváno kolena zhusta k tisku, k lisování, k vyrážení a k vytlačování kovových a p. značek a j. Za touž příčinou mívalo i koleno rozličnou podobu. Tak se na př. nad C přidělávala rukověť, aby se pohodlněji tlačiti mohlo; od H šly kolmo dolů dva rámce s prohlubenou dráhou, do které dolejší plotna F se zubem zapadala, tak že se jen ve směru kolmém aneb ve směru rámce vůbec pohybovati musila a p.

22. Působí-li více sil v též rovné ploše na jeden bod, ustanoví se posloupným jich skládáním výslednice jejich. Je-li na př. v bodu M (obr. 22) působiště sil P, P′ a P″, možno si napřed utvořiti výslednici $v = MC$ ze sil P a P′, tak že tu nyní místo tří jen dvě síly jsou, totiž v a P″. Složí-li se nyní i tyto dvě síly rovnoběžníkem MCED ve výslednici $V = ME$, bude na místě všech tří toliko jedna síla $V = ME$, která všecky dané síly zastupuje, t. j. výslednicí všech tří sil jest *). Již z toho

Obraz 22.



*) Poněvadž strana AC poměrnou velikost síly P′ vyznačuje a se směrem jejím rovnoběžně vedena jest, musí konečný bod její C i konečným bodem výslednice v, t. j. sil P a P′ býti, ze kterého se opět CE, poměrnou velikost síly P″ vyznačujíc, rovnoběžně se směrem této síly MD vésti musí, aby se zase v jejím konečném bodu E konečný bod nové výslednice V nalezal, která v účinku všecky upotřebené síly na-

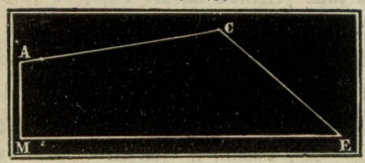
vysvítá, že se i naopak síla v libovolný počet postranných sil rozložiti čili na více složek rozvésti dá, poněvadž se každá složka zase za výslednici jiných považovati může.

Toto skládání a rozkládání sil dělo se až posud jen v tom případu, když všecky síly v též ploše působily; než ono jest i

---

hražuje. Jelikož bod M co společné působiště všech sil i působištěm výslednice býti musí, jest tím výslednice $V = ME$ všech tří sil určena, aniž zapotřebí jest, aby se výslednice částečná $v = MC$ skutečně sestrojila. Celý pochod záleží následovně v tom, aby se sestrojily všecky s danými silami souhlasné, rovnoběžné AC a CE, jak to obraz 23. ukazuje. Konečný bod jejich E jest pak i konečným bodem výslednice všech upotřebených sil, která spojením působiště M s tímto bodem ve své poměrné velikosti ME se objevuje.

Obraz 23.

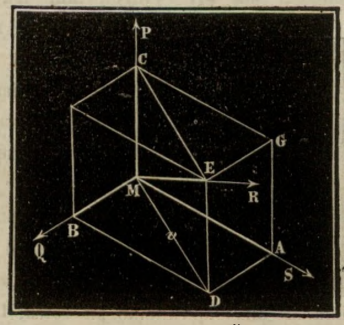


Krátce se tedy udělá AC ∥ MB (obr. 22.) a z bodu C opět CE ∥ MD, čímž konečný bod výslednice ME povstane.

Mimo toto geometrické stanovení výslednice sil máme také *analytické*, t. j. stanovení výslednice *počtem*, pomocí dvou na sobě kolmo stojících os xx′ a yy′, které se proto volí, aby se k snadnějšímu přehlédnutí všecky síly do směrů jejich rozložily. Má-li se na př. ustanoviti výslednice sil $P_1, P_2, P_3, P_4 \ldots$, které s osou xx′ úhly $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4 \ldots$ tvoří, určí se napřed složka síly P_1 ve směru osy xx′, totiž $p_1 = P_1 \cos \alpha_1$ a pak složka její do osy yy′ padající $q_1 = P_1 \sin \alpha_1$; taktéž povstanou i složky síly P_2, $p_2 = P_2 \cos \alpha_2$ a $q_2 = P_2 \sin \alpha_2$ a t. d., tak že se konečně původní síly $P_1, P_2, P_3 \ldots$ složkami jejich $p_1, p_2, p_3 \ldots$, které toliko jen v ose xx′ působí, a složkami $q_1, q_2, q_3 \ldots$, které jen do osy yy′ padají, nahraditi dají. Vyznačí-li se výslednice všech osou xx′ působících sil písmenem X, bude $X = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + \ldots = S.p = S.P \cos \alpha$. Značí-li Y podobně výslednici všech osou yy′ působících složek, bude pak $Y = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + \ldots = S.q = S.P \sin \alpha$. Tak povstanou ze všech sil toliko dvé síly, které v pravém úhlu působí, jichž konečná výslednice $V = \sqrt{X^2 + Y^2}$ a jejíž směr úhlem $\cos \omega = \frac{X}{V}$ čili $\operatorname{tang} \omega = \frac{Y}{X}$ určen jest. Z předešlého vysvítá, že X nic jiného není než součet průmětů všech upotřebených sil na jednu, a Y součet průmětů jejich na druhou osu.

tenkráte možné, když síly *v prostoru* vůbec působí, což se na př. děje, když se při zatloukání kolů rozvětvením provazů beran od více lidí najednou do výšky vytahuje. Vždy totiž možná mysliti si napřed jen dvě síly, které v jedné ploše jsou a ve výslednici se složiti dají. Ta zase se silou třetí se skládá, v čemž se postupně pokračuje, až konečně všecky síly ve výslednici společnou splývají. Máme-li na př. síly P, Q a S (obr. 24), které na týž bod M působí, můžeme známým způsobem napřed ze sil Q a S utvořiti výslednici jejich $v = MD$, tak že se pak toliko jedna síla v místo dřívějších dvou sil objevuje a se silou P v rovnoběžníku CMDE na výslednici $R = ME$ složiti dá, která pak výslednicí všech tří sil jest. Řádným sestrojením rovnoběžných stranic snadno se ze sil čtyrstěn objeví, jehož průsečná ME směr a poměrnou velikost výslednice znázorňuje *).

Obraz 24.



---

*) Stojí-li směry těchto tří sil kolmo na sobě, dá se velikost výslednice jejich snadno ustanoviti; jest totiž $R^2 = P^2 + v^2$, a jelikož $v^2 = Q^2 + S^2$, jest $R^2 = P^2 + Q^2 + S^2$, z čehož $R = \sqrt{P^2 + Q^2 + S^2}$ následuje.

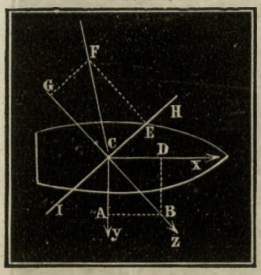
Působí-li více sil v libovolných úhlech v prostoru na týž bod, bývají se k analytickému rozluštění takovýchto úloh na výpomoc tři na sobě kolmo stojící osy, tak že se pak každá síla ve tři složky rozkládá a sice ve směrech přijatých os. Vyznačíme-li úhly, které tvoří síly s osou xx' písmenem α, úhly, které tvoří síly s yy' písmenem β, a úhly, které tvoří síly s osou zz' písmenem γ, budou pak složky síly P_1 v těchto směrech $p_1 = P_1 \cos \alpha_1$, $q_1 = P_1 \cos \beta_1$ a $r_1 = P_1 \cos \gamma_1$. Podobně obdržíme složky síly P_2, $p_2 = P_2 \cos \alpha_2$, $q_2 = P_2 \cos \beta_2$, $r_2 = P_2 \cos \gamma_2$ a t. d., až konečně ze všech jen 3 ve směrech os působící výslední síly povstanou, z nichž každá, jako nahoře, opět součtem projekcí všech upotřebených sil na zmíněné osy bude, totiž

$$X = \mathbf{S}.P \cos \alpha, \quad Y = \mathbf{S}.P \cos \beta \quad \text{a} \quad Z = \mathbf{S}.P \cos \gamma.$$

Již z předešlého vysvítá, že se i každý jiný počet na týž bod působících sil vždy dle potřeby složiti, aneb opáčně, že se i každá síla na libovolný počet jiných sil rozložiti dá; z čehož pak následuje, že se dle okolností první i druhý návod upotřebiti a vždy tak zaříditi může, jak to náš prospěch a potřeba žádá.

23. *Život skutečný* hojně ukazuje, jakých výhod tyto známosti jak při vysvětlování tak i při skutečném upotřebování rozličných strojů poskytují. Pěkný příklad upotřebení rozkladu sil máme na *lodích plachetních*. Představuje-li nám IH (obr. 25) na lodi upevněnou plachtu, o kterou se vítr ve směru FC opírá, obdržíme postupným rozkladem sil velikost účinku jeho ve směru Cx, kterým loď ku předu pohání. Značí-li FC velikost síly opírajícího se větru, třeba ji jen tak rozložiti, aby jedna část působila, druhá však aby se rušila. Tak se objeví účinek větru na plachtu, který jen směrem kolmým možný jest ve velikosti GC, kdežto druhá složka CE, působíc ve směru plachty, bez účinku zůstává. Přeneseme-li k snadnějšímu přehledu GC do směru Cz, tak aby CB = GC bylo, možno se zase tázati, jakým úsilím vítr loď ku předu t. j. směrem Cx požene. Rozloží-li se působnost větru CB na směr Cx a Cy, vyznačí CD sílu, kterou se loď ku předu pohybuje, a CA sílu, kterou ji vítr na stranu žene. Jelikož však po délce odpor vody na stranici lodi velký jest a tím účinek CA z větší části se ruší, zbývá podstatně jen účinek CD, kterým vítr loď ku předu pohání. Tak vídáme, že vítr i na řekách našich, když se plachty přiměřeně zavěsí, úkol veslaře vykonává, opíráním se totiž o ně lodičku z břehu na břeh sám poháněje. Právě takovýmto přiměřeným rozkladem síly

Obraz 25.



Z toho se ustanoví známým způsobem výslednice jejich:

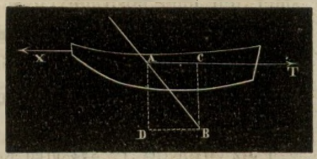
$$V = \pm\sqrt{X^2+Y^2+Z^2},\quad \cos a = \frac{X}{V},\quad \cos b = \frac{Y}{V} \text{ a } \cos c = \frac{Z}{V},$$ z čehož

i pro další posudek výsledku také $\cos a^2 + \cos b^2 + \cos c^2 = 1$ se objeví, když a, b, c odchylku výslednice od přijatých os vyznačuje.

větru bývá plachetním lodím možno i jinam se pohybovati, než kam vítr věje. Tak se mohou takové lodi ku předu i k zadu pohybovati, když na př. vítr kolmo na dráhu jejich duje, jen když se na něj plachty přiměřeně vyvěsí. Jestli však vítr zčásti aneb naprosto odtud vane, kam loď plouti má, pomáhá si plavec tím, že běh lodi od tohoto směru odchyluje, přejížděje pravý směr střídavě k pravé a zase k levé straně, čímž ovšem z dlouha ale přece ku předu přichází. Pochod tento nazývají *křižováním*. Z toho se také vysvětluje, že plachetním lodím hnedle ve všech případech, když vítr fouká, plavba možná jest.

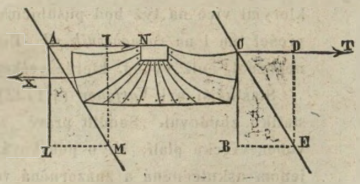
Jednodušeji ovšem vyložíme si pohybování lodí tyčemi na řekách našich. Postavíme-li na př. tyč šikmo v ploše kolmé čili rovnoběžné s postranní stěnou lodi, abychom se o ni opírati mohli, jako AB na obraze 26. ukazuje, objeví se účinek k pohybování lodi u velikosti AC, kdežto se působnost ve směru svisném AD zcela ruší. Účinek této síly jest pak takový, jakobychom se silou AC o stěnu T tyčí opírali, a loď se pohybuje jak známo směrem x, tedy pouze ku předu.

Obraz 26.



Opíráme-li se však tyčí se strany v takové ploše, která by kolmo na délku lodi stála, jako CE a AM (obr. 27), rozkládá se zase upotřebená síla na CD a CB, z nichž se CB ruší, CD však tak účinkuje, jakobychom se touto silou o stěnu T opírali, a loď se musí pohybovati pouze svou stranou do x. Je-li poloha tyče AM rovnoběžná s polohou tyče CE, objeví se tentýž účinek ve velikosti AI, ačkoli tyč na druhé straně působí. Spojí-li se oba tyto případy (obr. 26 a 27), t. j. opíráme-li se o tyč, která zároveň oba tyto směry má, tedy šikmo na délku i na šířku lodi stojí, objeví se také účinek obojí zároveň, t. j. loď se bude

Obraz 27:



pohybovati současně stranou i ku předu. V takovýchto obratech a vědomostech záleží celé veslování.*)

24. Z toho, co posud o směru výslednice povědíno, následuje, že se směr výslednice směry postranných sil jejích *říditi musí*, že se tedy vždy více chýliti bude ke směru složky větší, až konečně zcela do něho padá, když se velikost složky druhé až na nulu byla zmenšila čili když působiti přestala, a naopak. Jasně se to ukáže, podložíme-li jedné síle velikost nezměnlivou, druhou však od nuly počínajíc napořád růsti necháme: směr výslednice bude se totiž ustavičně přibližovati k směru zrůstající síly. Z toho následuje, že v případu, když obě složky sobě vespolek rovny jsou, výslednice směry obou dvou sil rovnou měrou v sobě obsahovati, čili že směr výslednice od směrů složek jejích v každém bodu *rovně vzdálen býti musí*, t. j. že směr její úhel postranných sil *půlí*. Poněvadž vliv, který každá síla na výslednici tedy i na směr její má, v takové míře růsti musí, v jaké postranné síly této přibývá, vysvítá, že pak i nutně každý bod výslednice tolikráte bližší bude větší složce její, ko-

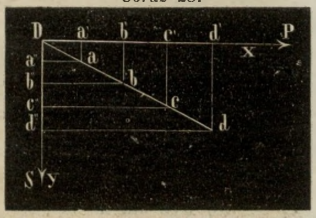
*) Již *Aristoteles* († 322 před K. P.) učil dosti jasně, jak se rozličné pohybování, současně na nějaké hmotě uskutečňované, v určitý výsledek skládá. Při jeho návodu dlouhý čas zůstalo. Teprv *Stevin* († 1633) začal jasně vykládat skládání a rozkládání sil. On utvořil trojúhelník, jehož tři stranice se směrem působících sil rovnoběžné jsou; on již také vysvětloval, že velikost stranic trojúhelníku poměrná jest velikosti upotřebených sil. Konečně ukázal i na podmínky, pod kterými více na týž bod působících sil v rovnováze zůstávati může, a přešel tím i na *rovnoběžník sil*. Důležitosti a bohatosti věty této však nepoznal, aniž výhod, kteréž veškerému strojnictví poskytuje.

Šťastnější byl *Varignon* († 1722), který na základě této věty celou statiku zbudoval. Soudil právě, že o síle čili o původu pohybování vůbec všecko platí, co o pohybování samém, jelikož pohybování jest jenom uskutečněná a znázorněná velikost působící síly.

Od těch dob, co se věta o rovnoběžníku sil určitě byla vyřkla, nedbali více fysikové o to, aby ji nějakým přesným důvodem opatřili. Všickni byli o pravosti její přesvědčení a nikdo necítil potřebu nějakých důkazů hlubších. Posléze se i touto věcí obíral ostrovtip mathematický a vyvinul nemalé množství rozličných důkazů, které pravost této ačkoli *v sobě dosti jasné věty* uměle vyvoditi měly.

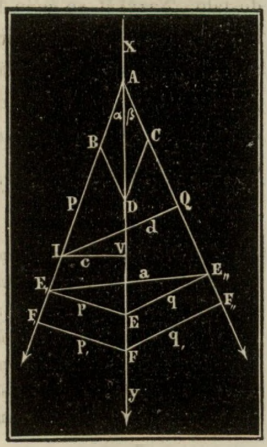
likráte složka tato větší jest nežli složka druhá, a právě naopak, že od složky menší tolikráte vzdálenější býti musí, kolikráte tato menší jest než složka první. Poněvadž se vzdálenost vždy *nejkratší* přímou čarou, tedy *kolmou* měřívá, může se souditi, že to, co na hoře o vzdálenostech řečeno bylo, *o všech kolmých platiti musí, které se z jakéhokoli bodu výslednice na směry postranných sil jejich vésti dají.* Jasně jest to viděti u sil, jichž směry na sobě kolmo stojí, jako obraz 28. ukazuje. Vedeme-li na směry postranných sil Dx a Dy z rozličných bodů výslednice a, b, c, d kolmé dd' a dd'', cc' a cc'' a t. d., jest již z obrazu patrno, že každá kolmá na směr síly P, která dvakráte tak velká jest jako síla S t. $P = 2S$, dvakráte menší jest než vedená souhlasná kolmá na směr síly S, na př. $dd'' = 2.dd'$ a t. d.

Obraz 28.



Pravost této věty dá se pomocí měřítka i při každém jiném úhlu ukázati. Tak viděti na obraze 29, že kolmá $EE_1 = p$, z bodu E na směr síly $P = AB$ vedená, právě tolikrát čili v té míře menší jest, než kolmá $EE_{11} = q$ na směr síly $Q = AC$, kolikráte síla P větší jest než síla Q, a naopak. Co zde o kolmých p a q řečeno bylo, platí také o kolmých p_1 a q_1, a o všech jiných, ať již z jakéhokoli bodu třeba i do x a y prodlouženého směru výslednice na taktéž prodloužené směry sil vedeny jsou. Z toho následuje, že v tom poměru, ve kterém síly přibývá, vzdálenosti směru jejího od libovolného bodu výslednice ubývá, že tedy poměr sil jest právě takový, jako převrácený poměr těchto vzdáleností a naopak, tak že se všeobecně tvrditi může, že

Obraz 29.



stojí síly v obráceném poměru vzdáleností směrů svých od libovolně přijatého bodu výslednice, totiž že jest vůbec $P:Q = q:p$. Je-li však síla $P = Q$, musí také býti $p = q$, následovně na obou dvou stranách výslednice rovné množství, t. j. tatáž veličina síly a tatáž vzdálenost směrů jejích od každého bodu výslednice, tedy i *rovné součiny*, kleré ze síly a z přináležející kolmice její povstávají, totiž $P.p = Q.q$. Považíme-li, že kolmice vždy tolikráte ubude, kolikráte jí přináležející síly bylo přibylo, a naopak že tolikráte síly ubude, kolikráte kolmé bylo přibylo, vysvítá, že na každé straně vždy totéž množství, tentýž účin zůstává, poněvadž vždy v té míře jedna část čili jeden činitel vzroste, ve které druhé bylo ubylo. Z toho následuje, *že vespolná rovnost účinů ze síly a z kolmice její se nemění*, ať se velikost a směr sil byl jakkoli změnil, což i z uvedené srovnalosti $P:Q = q:p$ patrno jest, poněvadž v ní vždycky $Pp = Qq$ býti musí.

Ačkoli se právě vyvinutá věta jen jakýmsi nahodilým výsledkem býti vidí, nicméně jest pro celé strojnictví velmi důležitá ano jedna z nejhlavnějších, tak že se jí i zvláštního jmena dostalo. Nazývá se účin ze síly a vzdálenosti směru jejího od libovolného bodu výslednice *statickým momentem jejím*, tak že se hořejší věta slovy i následovně pronáší: *statický moment jedné síly* (Pp) *vyrovnává se vždycky statickému momentu druhé síly* (Qq), *čili statické momenty obou sil jsou si vždycky vespolek rovny.**)

---

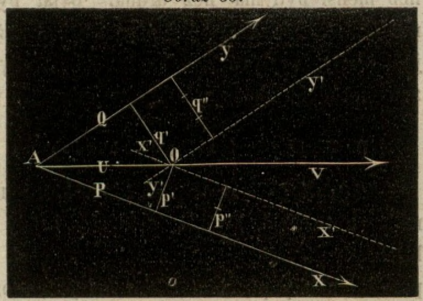
*) *Počtáři* se neuspokojí s podobným vyvinováním přírodních zákonů, než žádají, aby se všecko vyvodilo počtem, dílem proto, aby se všem pochybnostem, kterýby snad z nedosti opatrného rozumování povstati mohly, vyhnuli, a což mnohem důležitější jest, i z té příčiny, aby z výsledků návodu mathematického zároveň *i hlubších a širších známostí* o věci samé nabyli, jak se to i skutečně zhusta stává. Tak máme v hořejším případu, sestrojí-li se rovnoběžník sil ABCD v trojúhelníku ABD

$$P:Q = AB:BD = \sin\beta:\sin\alpha = \frac{q}{EA}:\frac{p}{EA} = q:p$$

z čehož $P:Q = q:p$ čili $Pp = Qq$ následuje.

25. Z předešlého následuje, že se rovnost momentů jen tenkráte objeviti může, když se tyto kolmé č. vzdálenosti směrů sil na nějaký skutečný bod výslednice vztahují, a žeby se tato rovnost pro každý jiný mimo výslednici ležící bod zrušila, jelikož by pak nutně na jedné straně více a na druhé méně povstati musilo. Za touto příčinou používáme také pravdy této, abychom i opáčně soudili, že totiž v případech, když momenty dvou sil vzhledem na nějaký bod sobě se vespolek vyrovnávají, tento bod nejinak leč někde ve výslednici ležeti musí, tak že se tím i zvláštního návodu nabývá, kterým se poloha výslednice sestrojiti a vypočísti dá. Působí-li na př. ve směru x (obr. 30) síla $P=6$ a ve směru y síla $Q=4$ a vezme-li se $p=2$, jest moment $P.p = 6.2 = 12$, tak že $q=3$ býti musí, aby také $Q.q = 3.4 = 12$ bylo. Postavíme-li kdekoli na směr síly P kolmou $p''=2$,

Obraz 30.



Jelikož mimo tyto srovnalé strany i jimi uzavřené úhly sobě rovné jsou, totiž ∠B = ∠E, poněvadž se úhel (PQ) = α + β s úhlem E = (pq) i s úhlem B na 180 stupňů doplňuje, jest △ ABD ∾ △ E„E,E, z čehož vůbec

AB : BD : AD = P : Q : V = q : p : a následuje.

Proto jest také P : V = q : a čili Pa = Vq a t. d.

Kdybychom nějaký buďsi jakýkoli bod ve směru síly P aneb Q vyvolili, a z něho na směry dvou ostatních sil kolmé svedli, byly by i tenkráte zmíněné oučiny obou sil sobě rovny. Vedem-li na př. z bodu *I* na směr výslednice *xy* kolmici c a na směr síly Q kolmici *d*, jest opět

$$Q : V = \sin\alpha : \sin(\alpha+\beta) = \frac{c}{AI} : \frac{d}{AI} = c : d$$

čili Q : V = c : d a Q.d = V.c. Máme-li tedy dvě síly a výslednici jejich a vedeme-li z kteréhokoli bodu, který se ve směru jedné z těchto tří sil nalezá, kolmo na směry dvou ostatních, stojí vždy tyto síly v obráceném poměru svých kolmic. Z toho vysvítá, že se tento bod, který se *středem momentů* nazývá, ve směru kterékoli síly brátí může.

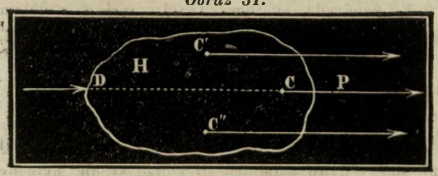
a vedeme na ní rovnoběžnou $x'x'$ se silou P, sestrojíme-li taktéž na směr síly Q kolmou $q'' = 3$ a rovnoběžnou $y'y'$, jest společný bod jejich O bodem výslednice, jelikož od směrů obou sil žádoucí vzdálenost má. Přímka U, která působiště sil s bodem O spojuje, značí zároveň směr výslednice jejich V.

Také i naopak ustanoviti možno, v jakém poměru síly P a Q k sobě státi musí, když výslednice jejich nějakým určitým bodem O jíti má. Nebo vedeme-li z bodu tohoto kolmé p' a q' na zmíněné směry sil, ukazuje nám poměr velikostí těchto kolmých obráceně i poměr sil, t. kolikráte jedna síla větší neb menší býti má než druhá. Bylať by síla P tolikráte větší než Q, kolikráte kolmá její p' menší jest než q'. Je-li dána velikost jedné síly, vyplývá z toho i velikost síly druhé, poněvadž nám zmíněná úloha ukazuje, kolikráte jedna síla větší býti má než druhá.

D. Skládání sil působících na body rozličné.

26. Mají-li se síly skládati, které na rozličné body působí, nedá se to jinak mysliti, než aby každý takový bod co působiště síly témuž pevnému celku náležel. Jelikož jsme však až posud jen síly působící toliko na jeden osamělý bod pozorovali, namítá se otázka, zdali nějaký a jaký rozdíl tu jest, působí-li síla *na bod nějakého pevného celku č. nějaké pevné hmoty.* —

Obraz 31.



Je-li bod tento jako C na obraze 31. pevně spojen s celkem H, jest přirozeno, že se musí každé působení na bod C rozptýliti i na povšechný celek H, s kterým spojen jest, a že se výsledek jen tenkráte jeviti bude, když vůbec nějaký na celé hmotě možný jest. Z toho následuje, že by se tentýž výsledek objeviti musil, kdyby síla P i na jakýkoli jiný bod tohoto pevného celku jako na C', C'' a j. působila, jen když se směr síly v účinku a v působení jejím nezmění. Ze skušenosti také víme, že kůň stejnou velikostí síly své účinkuje, jestli k voji z předu čili k pravé aneb k levé straně zadní nápravy zapřažen jest.

Proto jest to v případu tomto také jedno, zdali síla P na bod C aneb na jakýkoli jiný v CD, t. j. v prodlouženém směru jejím působí, poněvadž tu směr i velikost síly, následovně i týž účinek zůstává. Odtud patrno, že pro výsledek také jednostejné jest, táhne-li síla též velikosti hmotu H v bodu C aneb tlačí-li ji v bodu D.

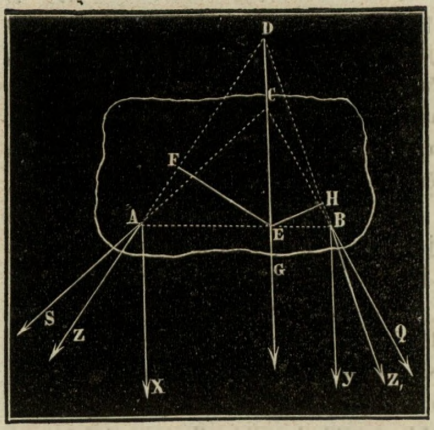
Z věci samé však vysvítá, že síla zprvu hmotu buď roztahuje aneb stlačuje, poněvadž jí setrvačnost nedopouští dřívější stav okamžitě opouštěti čili měniti. Jelikož to však jen krátce trvá, a síla v spůsobnosti své hned na celek přechází, může se to přehlídnouti, aby se posudek věci jednodušší stal. Výjimky, které by dělal na př. provaz, řemen a j., jelikož se táhne a sice tím více, čím delší jest, objevují se jen v prvním okamžení, když síla působiti počala.

Z předešlého následuje, že pro účinek síly jedno jest, zda-li se dlouhého aneb krátkého provazu uchytíme, abychom na něm v daném směru táhli. Tím se také zodpovídá otázka, jak se provaz napíná, když na něj nějaká síla působí. — Je-li druhým koncem k nějaké stěně, na př. na háku upevněn, jest přirozeno, že napnutí jeho tak velké bude, jako byla upotřebená k tomu síla, proto že se působnost její na všecky díly pevného provazu rozptýlí. Totéž by se opakovalo, kdyby se místo háku tak velké síly upotřebiti mohlo, která by svou působností každé jakékoli na druhém konci upotřebené síle se vyrovnati, následovně i účinek její vždy zrušiti dovedla. Zastupovalať by taková síla přirozeným spůsobem v tomto příkladu úlohu pevného háku. Z toho následuje, žeby provaz většího napnutí nenabyl, kdyby dvě sobě rovné síly ve směru protivném na něj působily, na př. dvá jej na koncích natahovali, poněvadž by se vždy jedna síla za pevné místo, na př. za hák považovati mohla, kde se provaz upevněn mysliti dá. Táhnou-li však na koncích provazu dvě sobě nerovné síly P a p a je-li P větší než p, tedy $P > p$, nenabude provaz většího napnutí, než jest síla p, poněvadž nadbytek síly P totiž $(P—p)$ menší sílu p za sebou táhne a *jen* pohybování uskutečňuje. Představíme-li si, že by síla P pevnost svrchu zmíněného háku zastupovala, není síle p možno, provaz více

napnouti, než jest velikost její. Kdyby však hák jen pevnost síly p do sebe měl, udrží napínání provazu jen tak dlouho, až dosáhne velikosti této síly. Jestiť to asi tak, jakoby síla P na provaze závaží táhla, které tak velké jest jako síla p. Nebo táhneme-li provaz prázdný, nemá sblíženě napnutí žádného; táhneme-li s ním jednu liberku, nabude tím napnutí jedné libry, tedy i napnutí p liber, kdyby jich na provaze p zavěšeno bylo aneb místo nich tam síla p působila.

27. Působí-li dvě síly S a Q (obr. 32.) ve dvou rozličných bodech v A a B na týž pevný celek, objeví se prodloužením směrů jejich společný bod C, do kterého se dle předešlého působiště obou dvou sil přeložiti může. Jestiť to pak případ takový, jakoby obě síly již původně byly na tentýž bod C působily. Zmenší-li se úhel těchto směrů, tak že pak síly ve směrech Az a Bz' působí, stýkají se prodloužené směry jejich teprv mimo hmotu, na př. v bodu D. V takovém případu jest vždy možno i v tato místa hmotu si v mysli rozšířiti, aby se výslednice na ni působících sil dle hořejšího (19.) ustanoviti mohla. Jelikož směr její, který se tak jako velikost známým sestrojením rovnoběžníka objevuje, nutně hmotou v CG prochází, může se pak každý ve směru tomto ležící bod hmoty za působiště výslednice zvoliti. Z toho následuje, že se případ tento a upotřebení jeho od předešlého (19.) v ničem neliší, tak že i zde $Q : S = EF : EH$ býti musí, když se EF a EH na směry těchto sil z a z' kolmo byly sestrojily. Kdyby i více sil zároveň

Obraz 32.



v též ploše na rozličné body pevného celku působilo, dala by se výslednice jejich tímž způsobem ustanoviti, když by se postoupně vždy směry dvou sil prodloužily a výslednice jejich sestrojila, jako se to již nahoře (22.) dělo.

Z hořejšího jest patrno, že vzdálenost působiště A od B na celý pochod tento, t. j. na *stanovení* výslednice žádného vlivu nemá, a že jako vůbec i zde *jen úhel* působících sil ve *směru* a *velikosti* výslednice podstatný rozdíl dělá. Zmenšuje-li se úhel tento vždy více a více, stane se naposledy nekonečně malým, tak že směry upotřebených sil k sobě vždy rovněji běží, až konečně sobě v x a y zcela rovné čili totožné jsou a zdánlivě zcela nový případ poskytují, že totiž dvě síly *rovnoběžně* na dva rozličné body A a B nějakého pevného celku působí.

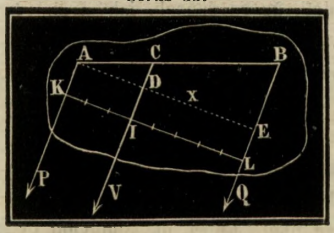
28. Z předešlého bylo viděti, že se způsob, jakým se výslednice stanoví, *neřídí úhlem*, ve kterém síly působí, ano že i pravost věty o statických momentech od úhlu tohoto *nijak nezávisí*. Z toho následuje, že také v tomto případu, když síly rovnoběžně na dva rozličné body působí, vše svou platnost míti musí, co o dvou buď na jeden aneb na dva rozličné body v tétéž ploše působících silách řečeno bylo. Lišit se případ tento od předešlých jen tím, že úhel, který na stanovení výslednice beztoho žádného vlivu nemá, zde nekonečně malý jest. Na základě tomto ustanovíme snadno výslednici rovnoběžných sil, ačkoli společný bod prodloužených směrů jejich v nekonečné dálce jest, což pro obmezené smysly naše tolik znamená, jako že tu žádného společného bodu není.

Považíme-li, že obě síly tentýž směr mají čili rovnoběžné jsou, vysvítá, že i účinek obou dvou takořka rovně vedle sebe běžeti musí, z čehož následuje, že i účinek výslednice jejich jiný směr míti nemůže, tedy že směr její se směrem sil rovnoběžný jest. Poněvadž se směr jedné síly neodchyluje od směru druhé síly, neodchyluje se také účinek jedné od účinku druhé, z čehož vysvítá, že se účinek celistvý, jelikož se u každé síly v tom směru jeviti musí, ve kterém síla působí, součtu účinků obou dvou vyrovnává. Pravdy tyto se měniti nemohou, je-li vzdálenost působišť A a B větší nebo menší, tedy ani ten-

kráte, když se vzdálenost tato nekonečně malou stane, t. j. když A i B v tentýž bod E (obr. 32) splývají. Z toho patrno, že výslednice tentýž směr podrží a že velikost její, poněvadž obě síly v jednu splynou, součtu obou dvou se vyrovnávati musí.

Co se působiště výslednice týká, nejedná se tu o nic jiného, leč o ustanovení polohy známého již směru jejího, protože jedno jest, ve kterém bodu takto ustanoveného směru výslednice působiti má, poněvadž se tím účinek její nemění. Jelikož i zde svrchu provedená věta místa míti musí, že vzdálenosti libovolného bodu výslednice od směrů sil v obráceném poměru stojí s velikostí sil, čili že statické momenty jejich sobě vespolek se rovnati musí, jest ustanovení polohy směru výslednice velmi snadné. Vedeme-li totiž kolmou AE (obr. 33.) ze směru síly P na směr síly Q, a rozdělíme-li ji nějakým bodem D tak na dva díly, aby jeden díl (DE) právě tolikráte větší byl než druhý (DA), kolikráte síla P větší jest než síla Q, jest bod tento D bodem výslednice V, tak že se jím tato rovnoběžně se silami mysliti aneb i také vyznačiti dá. Jednoduše se to provede, když se kolmá AE aneb i každá jiná, jako KL, na tolik dílů rozdělí, kolik jedniček obě síly dohromady dají, a bod tento tak vyvolí, aby část při jedné síle vždy tolik dílků obsahovala, kolik jednotek síla druhá má a naopak. Je-li na př. veliköst síly P = 5 a síly Q = 3, rozdělíme kolmou vzdálenost KL na 8 stejných dílů, z nichž 3 k síle P a 5 k síle Q přináleží, tak že bod I, který tímto poměrem kolmou KL rozděluje, bodem výslednice jest *).

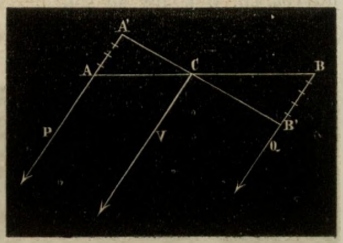
Obraz 33.



*) Počtem se tento bod výslednice pro všecky případy snadno ustanoví, když se na př. neznámá vzdálenost směru síly Q od působiště výslednice písmenem x = DE vyznačí, jelikož pak P : Q = x : AE — x bylo

Jelikož v tomto zvláštním případu i každá jiná mezi směry sil P a Q vedená přímá čára, na př. AB, která působiště jejich A a B spojuje, prodloužením výslednice bodem C v témž poměru se dělí a vzdálenost směrů rovnoběžných se také každou přímkou měřiti dá, vysvítá, že se při silách rovnoběžných místo kolmic u statických momentů i každá buďsi jakákoli šikmá přímka brátí může, jak to jen pohodlí a potřeba naše žádá. Objevují se prodloužením směrů sil z těchto kolmých a šikmých podobné trojúhelníky, jichž stranice k sobě vždy v témž poměru stojí. Proto možno místo KL i AB na 8 dílů rozděliti, aby se bod C co působiště výslednice objevil. Z též příčiny dá se působiště výslednice i následujícím spůsobem ustanoviti: na směr síly Q (obr. 34.) přenese se dle měřitka tolik dílů, kolik jedniček síla P obnáší a na prodloužený směr síly P zase tolik, co jich síla Q obsahuje, tak aby, když na př. P = 5 a Q = 4 i BB′ = 5 a AA′ = 4 bylo č. vůbec sestrojí se to tak, aby se uskutečnilo P : Q = BB′ : AA′. Spojí-li se tyto konečné body A′ a B′, obdrží se průsečný bod C, který jest bodem výslednice V.

Obraz 34.

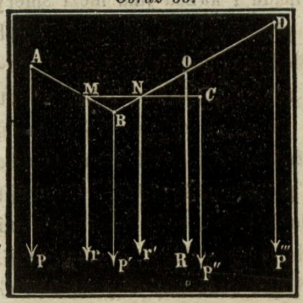


Podobně se dají i tři, čtyři a vůbec i každý jiný počet sil složiti, třeba by i zcela dovolně v prostoru působily, jen když směry jejich rovnoběžné jsou. Směr výslednice jestiť vždy tentýž, tedy se všemi silami rovnoběžný, a velikost její se vyrovnává součtu jejich. Působiště se vyhledá posloupným skládáním vždy dvou sil. Působí-li na př. v bodech A, B, C a D (obr. 35.) rovnoběžné síly P, P′, P″ a P‴, možno z prvu utvořiti známým spůsobem výslednici dvou sil P a P′ a vyznačit ji písmenem r, tak že $r = P + P'$ a $P : P' = MB : MA$ býti musí.

---

musí. Z toho následuje $x = \frac{P}{P+Q} \cdot AE = \frac{P}{V} \cdot AE$. Podobně jest pak druhá část $AE - x = \frac{Q}{P+Q} AE = \frac{Q}{V} AE = AD$.

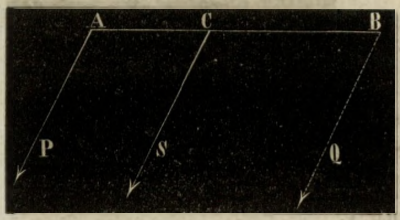
Obraz 35.



Přibere-li se k této výslednici síla P'' a utvoří tímž způsobem z nich výslednice $r' = r + P''$ s působištěm N, máme pak jen dvě síly r' a P''', jichž také tímto způsobem ustanovená výslednice R výslednicí všech těchto sil jest, tedy $R = P + P' + P'' + P'''$.

Přirozeně možno také vždycky každou sílu považovati za výslednici dvou jiných, tedy každou sílu rozložiti na dvě v rovnoběžných směrech, jen když se zachová čeho třeba, aby se síla tato považovati mohla za výslednici z ní utvořených dvou nových sil, t. j, aby se součet jejich vyrovnal dané síle a aby vzdálenosti směrů těchto složek od každého bodu dané síly stály v převráceném poměru velikosti jejich. Má-li se na př. (obr. 36) síla $S = 12$ rozložiti na dvě síly, které v bodu A a B působiti mají, tak aby $BC = 2.AC$ a síla $P = 8$ byla, jest přirozeno, že síla Q, která u vzdálenosti dvakráte tak velké BC působiti má, dvakráte menší, tedy $Q = 4$ býti musí. Taktéž bychom mohli, kdyby P a Q dáno a $P = 2.Q$ bylo, pro jednu sílu voliti působiště jaké bychom chtěli, na př. bod B pro sílu Q; pro sílu P by se však působiště ze zmíněného zákonu samo objevilo, totiž bod A, který bodu C dvakráte bližší býti musí než bod B, tak aby $BC = 2.AC$ bylo. Jelikož se každá z těchto dvou složek zase za výslednici považovati, tedy rozkládati může, jest patrno, že se každá síla i na více než dvě síly rozložiti dá.

Obraz 36.



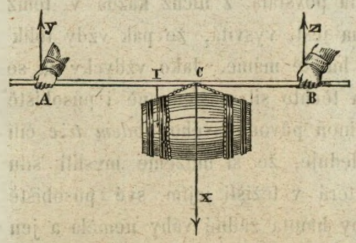
29. *Skutečnost nám poskytuje hojnost příkladů, kde se síly skládají a rozkládají.* Jako každá síla podléhá i *tíže* zmíněným zákonům o skládání a rozkládání sil. Považíme-li, že si hmotu vůbec jinak představiti nelze, než jakoby z nesčíslného

množství základních částic byla povstala, z nichž každá v témž směru silou tíže k zemi tažena jest, vysvítá, že pak vždy tolik rovnoběžných sil co částic v hmotě máme. Jako vždycky dá se i zde mysliti výslednice všech těchto sil, následovně i působiště její, které se u hmot za příčinou původu svého *bodem tíže* čili *těžištěm* nazývá. Z toho následuje, že si můžeme mysliti sílu rovnou váze každé hmoty, která v těžišti jejím své působiště má. Vypadáť to asi tak, jakoby hmota žádné váhy neměla a jen v bodu, kde výslednice tíže působí, tedy v těžišti tak velké závaží zavěšeno bylo, jako váha její obnáší. Jelikož každá výslednice sil toliko jen *vymyšlená síla* jest, vysvítá, že i působiště její, následovně i těžiště *nic skutečného* býti nemůže, že to tedy také jen *vymyšlený bod* jest.

Podeprou-li se oba konce nějaké latě, rozkládá se tíže její co síla dle známých poměrů ve dva díly, jichž součet velikosti váhy její se vyrovnává. Kdyby hmota na třech, čtyrech aneb i na více bodech spočívala, rozkládala by se tíže její dle téhož zákona. I práce skutečná může se tím v mnohých případech objasniti. Dle svrchu zmíněného dá se na př. snadno ustanoviti, mnoho-li člověk nésti musí, aby krokev, jedním koncem na podpoře spočívající, druhým v rukou opřenou držel. Počíná-li ji držeti v těžišti, musí upotřebiti síly tak velké, jako jest váha krokve, jelikož druhá podpora ničeho nenese. Vzdaluje-li se vždy více těžiště, připadá v té míře vždy větší část na druhou podporu, už se tlak v rovné vzdálenosti obou od těžiště půlí. Jde-li působiště ještě dále, stává se část, která na sílu připadá, vždy menší a menší, poněvadž jak již svrchu řečeno, síly s těmito vzdálenostmi v převráceném poměru stojí. Z toho vysvítá poučení, jak se žebříky, latě, krokve a p. nejsnáze kolmo postaviti dají. Přirozeně se musí k tomu hleděti, abychom menší složku silou naší překonávali, větší však aby se opřením o zem rušila.

Mají-li na př. dva sud na tyči nésti (obr. 37.) a sice tak, aby jeden tyč v bodu *A*, druhý v bodu *B* držel, sud ale v bodu C na ní pověšen byl, snadno se ustanoví, mnoho-li každý z nich nésti musí, když sud napřed zvážen a délka tyče *AB* a vzdálenost *A* od *C*, t. j. *AC* změřena byla. Třeba jen váhu sudu

Obraz 37.



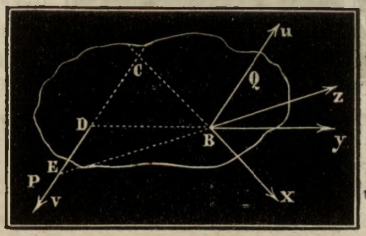
Q považovati za výslednici dvou sil, z nichž jedna P v bodu A a druhá S v bodu B na ruku působiti má. Jelikož obě síly rovnoběžně působí, musí Q = P + S býti. Velikostí AC se ustanoví, mnoho-li na každého přichází; jestiť totiž P : S = BC : AC, t. j. účinek v bodu B tolikráte větší než v bodu A, kolikráte AC větší jest než BC. Představíme-li si, žeby délka tyče AB na tolik dílů rozdělena byla, co soudek liber váží, musila by ruka v A tolik nésti, kolik takových dílků na BC přichází, a ruka v B tolik, kolik AC dílků obsahuje. Právě tak by se také jednati musilo, kdyby se poloha C pro sud tak ustanoviti měla, aby obá P a S váhu jeho mezi sebe dle určitých poměrů rozdělili. Váží-li na př. sud 100 liber a má-li B nésti 60 lb., A těch ostatních 40 lb., rozdělila by se délka AB na 100 dílů a bod C pro zavěšení sudu by se tak vyvolil, aby 60 dílků od A vzdálen byl. Také by se toho v tomto případu docílilo, kdyby se tyč na 10 dílů rozdělila a 4 k B a 6 jich k A přidalo. Rozumí se samo sebou, žeby se touto silou do *y* a do *z* působiti musilo, kdyby se sud zvednouti měl. V této úloze musil by se i na váhu latě AB ohled bráti, aby se co břemeno v A a B působícím silám náležitě přidělila, kdyby se velikost jejich určitě ustanoviti měla. Byloť by to tak, jakoby mimo sud i ještě břemeno váhy latě v těžišti jejím na netěžkou lať působilo. Podobně by se jednalo, kdyby trámec nějaký tímto sudem obtěžkán byl a konci svými na podpoře spočíval, aby se ustanovilo, jakým tlakem na podpory své působí. — Ze všeho bylo viděti, že *pouhá* délka bidla, na kterém se břemeno přenáší, na potřebnou k tomu sílu, tedy i na práci tuto žádného vlivu nemá.

I jinde se jeví podobné příklady; tak působí zapřažené koně na postraňkách s rozloženou silou svou, která se na váze opět skládá, až konečně na voji celá působnost jejich v jednu výslednici splývá. Totéž se stává, když více koňů zapřaženo

jest a i lidé zároveň vůz tlačí. Objevuje se tu výsledek rovný součtu všech upotřebených sil.

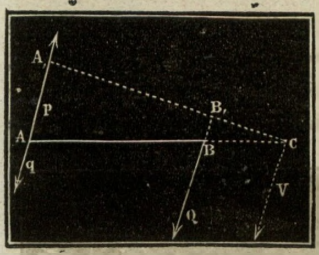
30. Rovnoběžné směry sil mohou se však také od sebe odchylovati, a to posloupně vždy více, jak obraz 38. ukazuje, kde síla P a Q na dva rózličné body působí. Byly-li směry tyto zprvu rovnoběžné, může směr síly Q přejíti do směru x se společným bodem C, pak do směru y se společným bodem D, do z se společným bodem E a konečně do směru zcela protivného u, čímž se zdánlivě zase zcela nový případ objevuje, že totiž dvě síly P a Q na dva rozličné body téhož pevného celku ve směrech protivných působí. Jelikož tu jen v úhlu rozdíl jest, úhel však na stanovení výslednice žádného vlivu nemá, platí zde všecko, co již nahoře o podobném působení sil řečeno bylo. Poněvadž směry sil zde protivné jsou, ruší síla menší celou svou velikostí část síly větší, tak že velikost výslednice rozdílu obou sil se vyrovnává a směrem síly větší působí *). Má-li se na př. utvořit výslednice ze síly P a Q

Obraz 38.



*) Všecky zde možné případy zahrnuje v sobě nahoře (v 21. c.) daná úloha, kde, jak obraz 20. ukazuje, na tentýž bod C dvě síly působí. Nebo přenese-li se působiště síly p ze společného bodu C na bod jiný E směru jejího z, a působiště síly q z téhož společného bodu C na jiný B, objeví se z toho případ obrazem 32. vyznačený, že dvě síly na dva rozličné body A a B téhož pevného celku působí. Mění-li se úhel směrů jejich od 0° až do 180°, povstanou z toho uvedené *tři zdánlivě rozličné případy* a sice onen *všeobecný* s libovolným úhlem, jejž obraz 20. vyznačuje, a ostatní dva, které tento všeobecný v nesčíslných úlohách se jevící případ *obmezují*, totiž že úhel směrů jejich 0° jest, *když jsou směry sil rovnoběžné* (obr. 36.), a že úhel tento 180° dosahuje, *když směry tyto sobě protivné jsou* (obr. 40.). Jelikož *způsob*, jakým se směr, působiště a velikost výslednice stanoví, ani od bodu, na který síla působí, ani od velikosti úhlu, ve kterém působí, nezávisí, vysvítá, *že ačkoli se mezi těmito rozličnými případy pravidelně*

Obraz 40.



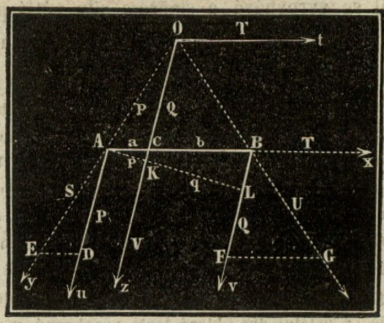
(obr. 40.) a je-li Q větší než P, možno Q na dvě síly rozložiti, z nichž jedna q tak velká jest jako P a v bodu A se působiti nechá, aby se účinek síly P docela zrušil, tak že pak jen složka druhá V zbývá a co výslednice na hmotu účinkuje. Působiště její C musí se, jak z věci samé vysvítá, tak vyhledati, aby $CB : AB = P : V$ bylo, t. j. CB tolikráte menší než AB, kolikráte

---

rozdíl dělává, ve věci přec žádného nestává, a že, kdyby tu skutečně nějaký býti měl, jen *ve formě* hledati se musí. Přirozeno, že zvláště theorisující a vše klassifikující učitelská vymýšlivost této příležitosti používá, aby nových paragrafů nadělala, ačkoli se to nejinak než vždy na ujmu jasnosti a přehledu děje. Jelikož téměř žádné *učební knihy německé* nestává, která by to přísně nedělila, uvedeme zde i tyto dva případy, vyvinuté zvláštním spůsobem:

a. Působí-li dvě síly P a Q (obr. 39.) rovnoběžně na dva rozličné body A a B nějakého pevného celku, možno si $P = AD$ rozložiti na dvě síly, z nichž by jedna T libovolně velká do směru Ax padla, z čehož by se pak druhá S již nutně ve směru Ay objevila, jak to povstalý trojúhelník ADE ukazuje. Jelikož působiště síly T v libovolném bodu směru Ax voleno býti může, přeloží se z bodu A do B, tak že pak směr výslednice U, povstalé ze sil Q a T, se směrem síly S v bodu O se setkává. Představíme-li si, že bod O s celkem pevně spojen jest, můžeme působiště obou z P a Q nově povstalých sil S a U přenésti do bodu O. Vedeme-li z bodu tohoto směry Oz || Au a Ot || Ax, možno zase v těchto směrech klásti místo síly U složky její T a Q, a jelikož se místo sil S a T, působících na tentýž bod, také

Obraz 39.



V větší jest než P, z čehož se vzdálenost bodu C od B čili BC snadno ustanoviti dá. Jako obrazem 34., tak se dá i zde obrazem 40. znázorniti stanovení působiště výslednice. Vezmeme-li na směru jedné síly P a na prodlouženém směru druhé síly Q

---

výslednice jejich P, ze které byly povstaly, ve směru Oz mysliti dá, máme v též přímce zase původní dvě síly P a Q, působící v jednom toliko směru Oz s tímtéž účinkem. Výslednice se rovná následovně součtu jejich $P+Q$ a má také s nimi rovnoběžný směr Oz. Poloha, a tento i působiště její ustanoví se nejsnáze bodem C. Z předešlého vysvítá, že se $\triangle$ ADE, tedy i také tomuto podobný $\triangle$ ACO za trojúhelník sil P a T považovati může. Podobně jest také $\triangle$ BFG a jemu podobný $\triangle$ BCO trojúhelníkem sil Q a T. Z těchto dvou trojúhelníků následuje:

$$\left.\begin{array}{l} P:T = OC:AC \\ Q:T = OC:BC \end{array}\right\} P:Q = BC:AC \text{ čili } P:Q = b:a \text{ a z toho zase}$$

$$P:(P+Q) = b:(a+b) \quad \text{a} \quad Q:(P+Q) = a:(a+b)$$

$$\text{čili } P:V = b:AB \quad \text{a} \quad Q:V = a:AB.$$

Spojíme-li tyto dvě srovnalosti v jednu, obdržíme

$P:Q:V = b:a:AB$, t. j. *každá z těchto sil jest srovnalá s onou částí přímky AB, která mezi směry ostatních dvou sil leží.*

Jedná-li se o to, aby se daná síla V na dvě rovnoběžné složky rozvedla, tak aby $V = P+Q$ bylo, obdržíme z toho

$P = (P+Q)\frac{b}{AB} = V.\frac{b}{AB}$ a $Q = (P+Q)\frac{a}{AB} = V\frac{a}{AB}$, když vzdálenosti působišť jejich a a b dány jsou. I naopak se vzdálenosti tyto ustanoví, když velikost složek P a Q určena jest; objeví se totiž

$$a = AB.\frac{Q}{P+Q} \quad \text{a} \quad b = AB\frac{P}{P+Q}.$$

Jelikož $\frac{AC}{CB} = \frac{AK}{KL}$ čili $\frac{a}{b} = \frac{p}{q}$, jest také $P:Q = q:p$,

$$P:(P+Q) = q:AL \quad \text{a} \quad Q:(P+Q) = p:AL,$$

z čehož opět následuje

$P = (P+Q)\frac{q}{AL} = V\frac{q}{AL}$ a $Q = (P+Q)\frac{p}{AL}$; a také

$p = AL.\frac{Q}{P+Q}$ a $q = AL\frac{P}{P+Q}$. Věty tyto dají se pro svou souměrnost snadno pamatovati a poskytují při tak zhusta potřebném skládání a rozkládání rovnoběžných sil velikých výhod.

b. Stanovení výslednice v tom případu, když síly ve směru protivném působí, jak obr. 40. ukazuje, odvodí se z předešlého, když se tato protiva počtářsky vyznačí. Jelikož síly protivné směry mají

díly silám poměrné AA′ a BB′, objeví se prodloužením přímek AB a A′B′ společný bod C co působiště výslednice. Jestiť zase uděláno $AA' : BB' = Q : P$. Totéž by se ukázalo, kdybychom směr síly P prodloužili, směr síly Q však ponechali, a silám poměrné velikosti na nich odměřili. Spojením těchto bodů a náležitým prodloužením takto povstalých přímek objevilo by se totéž působiště výslednice co společný bod jejich.

Z toho následuje, že se takovýmto spůsobem i každé jiné zcela libovolné množství rovnoběžně ač i ve směrech protivných působících sil v jednu výslednici složiti dá. Napřed se složí všecky síly jednoho směru v jednu, pak všecky síly směru protivného taktéž v jednu výslednici, tak že se konečně z celku jen dvě v protivných směrech na rozličné body působící síly objeví.

31. Vezme-li se na předešlé věty ohled a uváží, že výsledek hlavní věcí jest, který se uměle utvořenou výslednicí právě tak uskutečniti může, jako složkami jejími a naopak, dá se upotřebení zmíněné věty o statických momentech ještě více

---

musí se jedna vzíti negativně, Q přejde tedy na př. do $(-Q)$. Vezme-li se ohled na tuto změnu, platí zde všecko, co v předešlém o rovnoběžných silách vyvinuto bylo.

Ze srovnalosti $(-Q) : P = a : (AB - a)$ obdržíme tedy pro působiště výslednice

$$a = AB\frac{-Q}{P-Q} = AB.\frac{Q}{Q-P}$$ a právě tak i $$b = AB\frac{P}{P-Q} = -AB\frac{P}{Q-P},$$

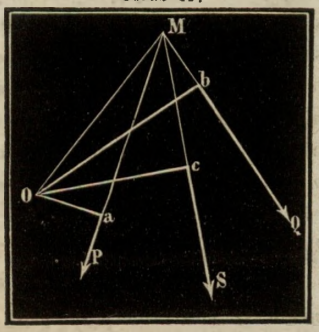
když $Q > P$. Z výrazů těchto vysvítá, že $a > AB$, že se tedy AB ještě *prodloužiti* musí, aby se se směrem výslednice setkalo, b však že se *negativně*, t. j. ne v tom směru jako nahoře, nýbrž jemu *protivně*, tedy k pravé straně bráti musí. Zvláštní případ se tenkráte objeví, když $P = Q$ jest, poněvadž $a = AB.\frac{Q}{Q-P} = AB\frac{Q}{0} = \infty$.

Taktéž by $b = -AB.\frac{P}{0} = -\infty$ bylo.

Zůstane-li síla P rovnoběžná se silou Q a nezmění-li se velikost jejich, nezmění se ani jejich výslednice. Točí-li se směry sil kolem působiště, točí se právě tak i výslednice jejich, aniž by tím své působiště opouštěla. Z toho následuje, že síly rovnoběžné *jakékoli* směry k AB míti mohou, aniž by se tím působiště výslednice jejich C změnilo; proto se i tento bod C *středem rovnoběžných sil* nazývá.

rozšířiti. Představíme-li si, žeby síly P a Q (obr. 41), tedy i výslednice jejich S na tentýž bod M nějakého pevného celku, hmoty nějaké, působily, která se kolem osy O otáčeti dá, mohl by účinek upotřebených sil jen v tom záležeti, žeby se hmota kolem této osy buď skutečně otáčela aneb alespoň k tomu působícím silám přiměřenou snahu jevila. Jelikož dle hořejšího (26.) jedno jest, na který bod hmoty síla v prodlouženém směru svém působí, možno si působiště sil P, Q a S tam přeložiti, kde se směry jejich stýkají s kolmou, která se z osy O na ně svedla, totiž do bodu *a*, *b* a *c*. Věc nyní asi tak vypadá, jakoby z osy O ramena *Oa*, *Ob* a *Oc* vycházela, na jichž konci upotřebené síly působí, aby se otáčely; odkudž se také kolmice tyto *rameny* nazývají. Má-li býti síla S skutečnou výslednicí sil P a Q, musí na rameně *Oc* takový výsledek dáti, jako síla P na rameně *Oa* a síla Q na *Ob* dohromady. Poněvadž tato ramena na směry sil kolmá jsou, nazývá se jako nahoře (24.) součin ze síly a z přináležející kolmé *statickým momentem* jejím, tak že bychom říci mohli: *statický moment výslednice vyrovnává se součtu statických momentů složek jejích.* Jestiť tedy $S.Oc = P.Oa + Q.Ob$. Jelikož momenty tyto zde zároveň úsilí k otáčení hmoty kolem osy vyznačují, nazývají se za touto příčinou i *momenty točnosti* (Drehungsmomente).

Obraz 41.



Kdyby i v bodu *O* žádné osy nebylo, snadno pochopíme, že si ji tam aneb i v jakémkoli jiném bodu hmoty mysliti můžeme, ano že nic nevadí, abychom si v mysli své hmotu libovolně tak rozšířili, aby každý i mimo ni ležící bod do ní vtažen býti mohl. Z toho následuje, že pronešená věta tato *všeobecnou* platnost má, s ohledem na každý buďsi v hmotě aneb i mimo hmotu ležící bod *O*. Že se pravost této věty i na každý dovolný počet sil rozšířiti dá, vysvítá již z té okolnosti, že vý-

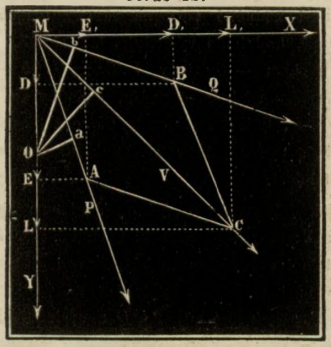
slednice ve všech případech tentýž účinek míti musí, jako všecky složky její dohromady. Jestli se upotřebené síly tyto v nějakém společném bodu stýkají, jako zde v *M*, aneb jestli žádného společného bodu nemají, když rovnoběžné jsou, jest to jen pouhá náhoda, která pravost svrchu uvedené věty nijak neruší. Z toho následuje, že *i při zcela dovolném počtu rovnoběžných sil moment výslednice právě tak velký jest jako součet momentů všech složek jejich*, s ohledem na každý i mimo hmotu ležící bod.

Zdánlivě jinak to vypadá, když domnělá osa čili *střed momentů O* mezi směry sil padá, poněvadž se pak kolmice čili ramena sil k dvěma protivným stranám strojiti musí. Rozdíl tento se jmenovitě tím nápadně objeví, že některé síly v tomto případu hmotu na zmíněných ramenech v jednom, jiné v protivném směru otáčeti se snaží, tak že se i zcela protivné účinky objevují. Přirozeně působí v tomto případu moment výslednice na té straně, kde momenty sil převládají, a vyrovnává se rozdílu momentů sil protivného směru.

Jelikož točnost hmot tímto momentem čili součinem vyznačena jest, vysvítá, že velikost její *od obou činitelů zároveň závisí, od síly i od ramena*, na kterém působí, následovně že se dle potřeby jedním i druhým zvětšiti i zmenšiti dá, a že se nemění, pokud se součin sám nezměnil, ať se pak již z jakýchkoli činitelů skládá. Je-li na př. moment čili točnost 24 velká, může být síla 24 a rameno 1, nebo síla 12 a rameno 2, 8 a 3, 6 a 4 a t. d., poněvadž $1.24 = 2.12 = 3.8 = 4.6 = 24$, t. j. tentýž součin dává.*)

*) Pravost této věty dá se také počtem snadno vyvinouti pomocí dvou os, které na sobě kolmo stojí. Je-li *O* (obr. 42.) střed momentů, ze kterého se tedy na směry sil *P* a *Q*, a na výslednici jejich *V* kolmé *Oa*, *Ob* a *Oc* sestrojiti mají, třeba jen ze společného působiště *M* tímto bodem vésti jednu osu *Y*, druhou však *X* v bodu *M* kolmo na ni sestrojiti. Rozložíme-li nyní všecky síly tak, aby všecky složky jejich do těchto os padly, obdržíme $ML' = ME' + MD'$ a $ML = ME + MD$, poněvadž pojem výslednice žádá, aby složka její v každé ose tak velká

Obraz 42.



byla, jako součet složek postranných sil jejích. Vyznačí-li se tyto složky, jak nahoře (20.) udáno bylo, bude

$V \sin CMY = P \sin AMY + Q \sin BMY$ a $V \cos CMY = P \cos AMY + Q \cos BMY$,

aneb, považuje-li se vzdálenost OM za poloměr, také

$$V\frac{Oc}{MO} = P\frac{Oa}{MO} + Q\frac{Ob}{MO} \quad \text{a} \quad V\frac{Mc}{MO} = P\frac{Ma}{MO} + Q\frac{Mb}{MO},$$

z čehož již zmíněná věta následuje, totiž

$$V \,.\, Oc = P \,.\, Oa + Q \,.\, Ob \quad \text{a} \quad V \,.\, Mc = P \,.\, Ma + Q \,.\, Mb.$$

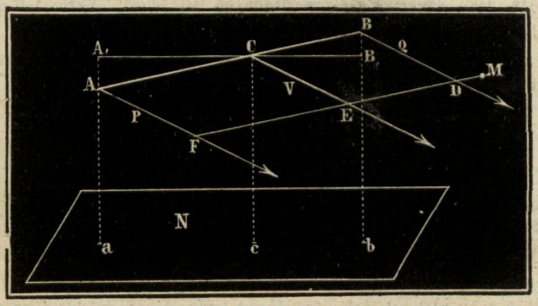
Jak viděti, rozšiřuje se pravost této věty i na úseky *(segmenty)*, které těmito kolmicemi povstávají, t. *Ma, Mb, Mc*. Ovšem jest návodem tímto jen dokázáno, že zmíněné věty toliko u dvou sil a výslednice jejich svou platnost mají, než důvod tento dá se snadno i na více sil rozšířiti. Dá-li se totiž každý počet sil posloupně po dvou v jednu složiti, jest také platnost věty této pro každý počet sil patrná; nebo statický moment výslednice dvou sil může se přidati k momentu třetí síly, aby se z těchto dvou moment výslednice tří sil ustanovil. Přidá-li se moment výslednice tří sil k momentu čtvrté síly, obdržíme moment výslednice čtyr sil a t. d. Vloží-li se do výrazu takového místo momentu částečné výslednice momenty složek jejích, ukáže se všeobecně, že statický moment výslednice se vyrovnává součtu statických momentů všech postranných sil jejích a naopak.

Leží-li však bod *O*, na který se momenty potahovati mají, mezi směry sil, musí se kolmé z něho na dvě sobě protivné strany vésti, jakož i svrchu již zmíněno, že tím snaha k pohybování hmoty v dvojím smyslu povstává. Jako nahoře mohla by se i zde osa *Y* z působiště tímto bodem vésti a osa *X* na ni kolmo sestrojiti, aby se pak celý hořejší návod opakovati mohl. Jelikož se však svrchu zmíněný součet také v algebraickém smyslu bráti může, třeba jen kolmé v jednom

směru vyznačili značkou +, a kolmé protivného směru značkou —, aby se platnost zmíněné věty na všecky možné případy rozšířila. Kdyby se na př. bod tento výslednici tak sblížil, až by mezi P a V přišel, měli bychom $-Oa$ tedy $V.Oc = Q.Ob - P.Oa$; kdyby konečně O do směru výslednice padlo, stalo by se $Oc = 0$ následovně $V.0 = Q.Ob - P.Oa$ čili $P.Oa = Q.Ob$, což již nahoře dokázáno bylo. Z návodu tohoto vysvítá, že v 24. vyvinutá věta jen jednotlivý případ této všeobecné jest.

Ačkoli, jak již svrchu zmíněno, úhel, ve kterém se směry sil v témž bodu M stýkají, na pravost vyvinuté věty žádného vlivu nemá, tak že věta tato i pro síly rovnoběžné svou platnost míti musí, nicméně dá se to i zvláštním způsobem dokázati. Představuje-li nám obraz 43. dvě rovnoběžné síly P a Q a výslednici jejich V, tak že tedy

Obraz 43.



$$V = P + Q \quad \text{a jelikož}$$
$$ME = MF - EF = MD + DE \quad \text{jest, také}$$
$$V.ME = P(MF - EF) + Q(MD + DE) \quad \text{čili}$$
$$V.ME = P.MF - P.EF + Q.MD + Q.ED.$$

Považíme-li, že $P.EF = Q.ED$ býti musí, jestli D bodem výslednice býti má, ruší se $+Q.ED$ a $-P.EF$, tak že $V.ME = P.MF + Q.MD$ co výsledek vybývá. Jako svrchu dalo by se i zde ukázati, že se pravost této věty i na každý jiný počet sil rozšířiti dá.

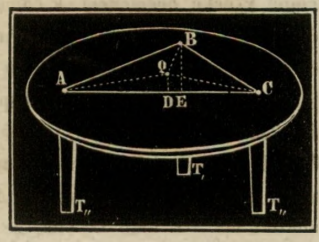
Zajímavé jest, že věta tato i tenkráte platí, když se kolmice z působiště sil na libovolnou plochu vedou. Je-li A a B (obraz 43.) působiště sil P a Q, a C působiště výslednice jejich V a jsou-li Aa, Bb a Cc právě zmíněné kolmé na plochu N, obdržíme

$$V = P + Q \quad \text{a jelikož}$$
$$Cc = Aa + AA_1 = Bb - BB_1 \quad \text{jest, také}$$
$$V.Cc = P(Aa + AA_1) + Q(Bb - BB_1) \quad \text{aneb}$$
$$V.Cc = P.Aa + P.AA_1 + Q.Bb - Q.BB_1.$$

Jelikož však $\frac{P}{Q} = \frac{BC}{AC} = \frac{BB_1}{AA_1}$ tedy i $P.AA_1 = Q.BB_1$ jest, ruší se $-Q.BB_1$ a $P.AA_1$ a zbývá $V.Cc = P.Aa + Q.Bb$. Že to i pro každý jiný počet sil platí, netřeba ani podotýkati. Porovnáme-li s touto větou, co v 28. (obr. 34.) o stanovení působiště výslednice rovnoběžných sil řečeno bylo, shledáme, že se to v podstatě od sebe neliší. Nebo myslíme si, že by šla plocha N působištem výslednice C tedy přímkou A_1B_1, obdrželi bychom kolmé AA_1 a BB_1 v protivných směrech, a mimo to by bylo $Cc = 0$, tedy $V.0 = P.AA_1 - Q.BB_1$, čili $P.AA_1 = Q.BB_1$, jakož tam ukázáno.

Na základě všech těchto vět o statických momentech dá se vždycky moment výslednice ustanoviti, a je-li jeden činitel jeho znám, nalezne se i druhý. Ano rozmanité úlohy dají se také způsobem tímto rozluštiti; na př. uvedeme následující: položí-li se na třínohý stůl nějaké známé břemeno, mnoho-li musí každá noha nésti? — Úloha tato dala by se sice dle hořejšího (22.) rozluštiti, jelikož bychom rozvedením tlaku celé hmoty T a složek jeho T_1, T_{11} a T_{111} na známé osy zvláštní výrazy pro X a Y a také $T = T_1 + T_{11} + T_{111}$ obdrželi. Jak známo, postačuje toto troje srovnání, aby se neznámé tři veličiny T_1, T_{11} a T_{111} určiti mohly. Mnohem snáze však účele svého dosáhneme, užijeme-li věty o statických momentech. Je-li O (obraz 44.) působiště břemena, A, B a C působiště složek jeho, jest $T.OD = T_1.BE + T_{11}.0 + T_{111}.0 = T_1.BE$ t. j. moment výslednice roven součtu momentů složek jejích, které se s ohledem na plochu, v AC kolmo na stole postavenou, aneb i jen na přímku AC ustanovily. Z toho obdržíme

Obraz 44.



$$T_1 = \frac{OD}{BE}T = \frac{\frac{1}{2}AC.OD}{\frac{1}{2}AC.BE}T = \frac{\triangle AOC}{\triangle ABC}T = \frac{p_1}{P}T$$

když se plocha trojúhelníku ABC písmenem P, a plochy částí jeho $ACO = p_1$, $BCO = p_{11}$ a $ABO = p_{111}$ vyznačí. Kdybychom momenty těchto sil také s ohledem na přímku CB a AB ustanovili, objevilo by se tímž návodem $T_{11} = \frac{p_{11}}{P}T$ a $T_{111} = \frac{p_{111}}{P}T$. Znázorníme-li si velikost tlaku plochou trojúhelníka ABC, aby tedy $T = P$ bylo, obdrželi bychom pro tlak noh $T_1 = p_1$, $T_{11} = p_{11}$ a $T_{111} = p_{111}$. Kdybychom si představili, že v bodu O těžiště stolu, tedy celá váha jeho sestředěna jest, ustanovilo by se tím, mnoho-li z ní na každou nohu jeho připadá.

Stanovení práce.

32. Jelikož pojem všech předmětů, z nichž se práce skládá, již objasněn jest, objeví se nyní náležitě i pojem práce s nimi, která v překonávání síly, čili jak jsme říkati uvykli, břemena na nějaké dráze po jistý čas záleží. Nazývať zvyk mluvy naší obyčejně všecko *břemenem*, k čemu se člověk nějak silou svou přičiniti musí, ačkoli to, jak přirozeno, zase jen síla býti může, co silou překonáváme, jen že to síla jest, která působí v nějakém jiném směru, a třebas i jiným spůsobem. Snaží-li se na př. člověk *B* předmět *C* pohybovati, který jiný *A* ve své ruce drží, bude člověk *A* svou silou břemenem pro člověka *B;* a naopak se stáva zase *B* břemenem pro *A*, který předmět v témž místě udržeti má. Z toho vysvítá, že se břemeno od upotřebené síly často ani neliší, a že jen účel práce ustanovuje, která síla břemenem jest. Tak na př. jest známo, že upotřebujeme váhu vody, abychom váhu jiných věcí, třeba i zase vody překonati, t. j. je do výše zvedati, tedy vodu čerpati mohli.

Jedná-li se o ustanovení *velikosti* práce, musí se na všecky činitele její ohled bráti, a jelikož se, jak přirozeno, práce zase *jen prací* měřiti dá, musí i měřítko její ze všech částí složeno býti, ze kterých se práce skládá. K snadnějšímu přehledu brává se však k tomu *vždy doba jedné sekundy*, tak že míra práce jen míru sil — *libru*, a míru vykonané dráhy — *stopu* v sobě obsahuje, že tedy **libro-stopa** (Fußpfund) její měrou jest. Jestiť to práce, které zapotřebí jest, aby se s jednou librou dráha jedné stopy za sekundu vykonala, tedy *jedna libra jednu stopu do výše zvedla.* Jelikož velikost práce s oběma činiteli rovně roste

a rovně jí ubývá, vysvítá, žeby to na př. práce devětkrát tak velká býti, tedy 9 librostop obsahovati musila, kdyby místo jedné devět liber dráhu jedné stopy za sekundu vykonati mělo; jestiť *9 liber* × *1 stopou* = *9 libro-stop*. Z toho také následuje, žeby tato poslední práce osmkrát větší býti musila, kdyby těchto 9 lb. dráhu osmi stop za sekundu vykonati mělo. Jestiť to asi tak, jakoby se zmíněná práce při každé jednotlivé stopě končila a zase osmkrát na novo počala, tedy 9 liber × 8 stopami = 72 librostop. Z toho vysvítá, že se ve všech případech, když se práce oceniti má, po tomto *oučinu* t. j. po *librostopách* tázati jest, jelikož žádný z činitelů jejich práci sám o sobě stanoviti nemůže. *).

33. Na tomto základě můžeme práci naši a strojů vůbec posuzovati a velikost její stanoviti.

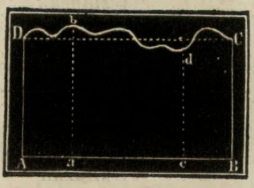
Kdyby se na př. o velikost práce jednalo, kterou člověk koná, když obilí do vyšších pater vynáší, třeba jen výšku znát a věděti co obilí váží. Je-li patro 12′ vysoké a váží-li měřice obilí i s nádobou 100 lb., obnáší práce tato pro jednu měřici 100 lb. × 12′ = 1200 librostop. Kdyby se do druhého patra tedy 24′ vysoko vynésti mělo, byla by to práce 100 lb. × 24′ = 2400 librostop, následovně práce dvakráte tak velká.

Vyhodím-li 5 lb. těžký kámen 8′ vysoko, když jej nepřetržitě rukou 2′ ženu č. metám, jest vykonaná práce tedy i upo-

---

*) Všeobecný výraz práce jest a.b, což ve smyslu měřickém *plochu* znamená, která se do svých dvou rozměrů zcela dovolně rozložiti dá, což právě v té míře i o práci platí. Základna plochy AB (obr. 45.) značí dráhu a výška její BC velikost upotřebené síly, jelikož se velikost práce jako velikost plochy dvěma činitelí mění. Výraz tento pro práci platí i tenkráte, když břemeno následovně i upotřebená síla v práci nestejná jest, jako si to křivkou *DbdC* znázorniti můžeme, kde na př. síla, znázorněná přímkou *ab*, větší jest než *cd*. Příčina leží v tom, že se vždy nějaká střední velikost pro sílu mysliti dá, jako zde *AD* a *BC*, kterou by se zmíněná práce napořád také byla vykonala.

Obraz 45.



třebená síla ruky 5 lb . 8′ = 40 librostop. Jelikož však ruka při tom jen dráhu 2′ velkou vykonala, musila účinkovati silou 20. liber, aby účinek 40 librostop t. j. 20 × 2′ uskutečnila. Z toho následuje, že kámen, který v klidu toliko 5 librami naši ruku tlačí, v tomto pohybu 20. librami na ni působil.

Má-li se na př. stojatá stoupa, která 200 liber váží, 15″ zdvihnouti, jest to práce 1¼′ . 200 lb. = 250 librostop velká. Kdyby se to za minutu 10krát státi mělo, byla by to práce 10 . 250 = 2500 librostop, a kdyby se tak 4 stoupy zároveň pohybovati měly, povstala by z toho práce za minutu 10.000 librostop velká.

Že se tímto spůsobem i práce snadno a určitě porovnávati dá, vysvítá samo sebou. Bylo-li na př. jednou 7 lb. nešeno 7′ vysoko, podruhé 8 lb. zvednuto 6′ vysoko, obnášela práce po prvé vykonaná 49 librostop, po druhé jen 48 librostop, byla tedy poprvé o 1 librostopu větší. Na tomto základě můžeme také porovnávati *práci člověka, koně, vola* i každého jiného zvířete. Sestavíme-li všecky tyto činitele, jak nám je mnoholetá zkušenost podává, dohromady, jest u

		váha	síla	rychlost	práce
člověka	*slabého*	100	20	2	40
	středního	125	25	2½	62·5
	silného	150	30	3⅓	100
koně	*slabého*	400	80	3·5	280
	středního	500	100	4	400
	silného	600	130	4·5	585
vola	*slabého*	400	80	2	160
	středního	500	100	2·5	250
	silného	600	120	3	360

Porovnáním čísel, které účinek těchto tří rozličných druhů sil v librostopách udávají, se ukazuje, že koná vůl práci, kterou by čtyří lidé konati musili, a že kůň za 7 lidí pracuje, z čehož následuje porovnání jich všeobecné, že totiž práce

Člověka : Vola : Koně = 62·5 : 250 : 400 = 1 : 4 : 7 čili
Č : V : K = 1 : 4 : 7 jest.

Z věci samé vysvítá, že tu nějaký přesný tedy naprosto určitý počet učiněn býti nemůže, než že se tu předpokládá *práce střední*, *práce obyčejná*, tedy asi taková, kterou obyčejný člověk konává, když denně 8 hodin bez přestávky aneb s obyčejnými obvyklými přestávkami 12 hodin denně pracuje. Že tento výsledek zcela všeobecnou měrou býti nemůže, rozumí se samo sebou, jelikož se od lidí, kteří jen na krátké doby pracují, mnohem více koná, jakož se zase naopak od lidí, kteří déle pracují, ani tolik očekávati nemůže. Taktéž jest vůbec známo, že všickni lidé stejně silní nejsou, že však se jako všude i zde nějaký střed mysliti dá, který obyčejným pravidlem následovně i základem počtu a oceňování práce býti může. Obyčejná zkušenost poskytuje nám dosti příkladů, z nichž viděti jest, že lidé mnohem více nosívají než 25 liber; zvláště v tom vynikají mlynářští, sladovničtí a j., jako na př. naši pražští stěhovači a nosiči. Přenášejíť 200 liber i více z místa na místo, ano i po schodech do vyšších pater. Podobně pozorujeme i také někdy výstřední rychlost, jako u *běhounů*, což však jen výminkou jest.

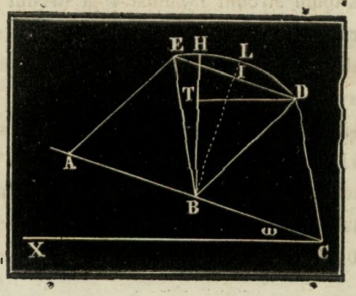
Tato různost platí také o *koních;* avšak dílem, že se koňů k pohybování strojů zhusta užívá, dílem že síla koně vůbec známá a přec dosti velká jest, aby se jí i veliké účinky parních strojů přehledně v malých číslech stanoviti daly, užívá se *koňské síly* za příkladem znamenitého vynálezce parních strojů Angličana *Watta* za měřítko velké práce na strojích. *Watt* vzal k tomu střední rychlost 4′ a střední sílu 100 lb., tedy 400 *anglických* librostop, což se sblíženě vyrovnává 430 *Vídenským* librostopám, které u nás velikost koňské síly vyznačují. Z toho vysvítá, že koňská síla, když se o ní vůbec mluví, žádná skutečná síla, nýbrž účinek 430 librostop jest, ať pak již pochází odkud chce, na př. z vody, z páry, větru a p. Řekne-li se na př., že to parní stroj *šesti koňů* jest, neznamená to nic jiného, než že tak velkou práci konati může, jako šest koňů dohromady, tedy 6 . 430 = 2580 librostop za sekundu.

34. Připomenouti však sluší, že se všecky práce stejným způsobem měřiti nedají. Tak jest to na př. něco zcela jiného, jestli se břemeno 10′ po rovině nésti, aneb 10′ do výšky zvednouti má. Dle svrchu zmíněného není pohybování bez břemena žádná práce; zkušenost nás ale učí, že se člověk přece unavuje, když delší čas i prázden po rovině chodí, že tedy i prázdnou chůzí nějakou práci koná. — Jednak, abychom způsob posuzování práce poznali, jednak abychom velikost její v rozličných případech porovnali, uvedeme zde některé příklady.

Ze skušenosti víme, že člověk po rovině 10 hodin denně rychlostí 4′ choditi může; otázka jest, jak velkou práci tím vykoná? — Kdyby se váha těla jeho na př. 120 lb. za břemeno považovala, byla by práce jeho za sekundu $120 . 4 = 480$ librostop, a za den $120 . 4 . 10 . 60 . 60 = 17{,}280.000$ librostop. Práce tím ovšem vypadá příliš velká, jaká v skutečnosti není; že se však i při prázdné chůzi na práci počítati může, vysvítá již z té okolnosti, že člověk při tom tělo své ustavičně zvedati musí. Má-li na př. levou nohu BD (obr. 46.) v bodu B, musí, aby pravou C do A dostal, v bodu B na levé noze se zpřímiti, a tím své těžiště tedy celou váhu těla svého o IL zvýšiti, jelikož D do L přichází. Oblouk DLE, jímž se tělo o IL zvýšuje, opisuje člověk při každém kroku. Již pouhý pohled ukazuje, že IL t. j. zvedání těla a následovně i práce tím větší jest, čím se delší kroky $AB = BC$ dělají a čím nohy $BD = BE$ kratší jsou. *)

Obraz 46.

Obraz 47.



*) Jelikož těžiště při chůzi oblouk kruhu DE opisuje, máme dle známé geometrické věty sbližené $LI . 2LB = DI^2$, z čehož se, je-li délka nohy $BD = BE = n$ a délka kroku $AB = DE = d$, zvýšení $LI = z$ snadno ustanoviti dá, totiž $LI = \frac{DI^2}{2LB}$ čili $z = \frac{d^2}{8n}$. Vy-

Zcela jinak to vypadá, jestli člověk prázden po schodech nahoru chodí; dle zkušenosti trvá v tomto případu denní chůze jeho 8 hodin a má rychlost ve směru kolmém, tedy měřenou jen nahoru a dolů $0{\cdot}4' = \frac{2'}{5}$. Kdyby se váha těla jeho zase

---

značí-li se váha člověka písmenem v, a břemeno, které nese, písmenem b, jest zvýšením tímto vykonaná práce $p = (v+b)\,z = \frac{(v+b)\,d^2}{8n}$ a upotřebená k tomu síla $s = \frac{p}{d} = \frac{(v+b)\,d}{8n}$. Pro zvláštní případy třeba jen vložili do výrazů těchto přiměřené hodnoty; je-li na př. délka nohy $n = 3'$ a délka kroku $d = 2'$, váha člověka 120 lb., a jestli nic nenese, obdržíme potřebnou k tomu sílu $s = \frac{(120+0).2}{8.3} = 10$ lb.

Z toho vysvítá, že namáhání při chůzi vodorovné v tomto případu tolik obnáší, jakoby člověk 10 liber tak vysoko zvednouti měl, jak daleko současně vodorovně dojde.

Je-li ω (obr. 47.) sklon plochy, po které člověk kráčí, a $\sphericalangle DBE = \beta$, velikost rozkroku, jest $HT = z$, zvýšení těla při každém kroku. Velikost jeho se ustanoví z

$$z_1 = n - BT = n\left[1 - \cos(\omega + \frac{\beta}{2})\right] = n\left[1 - \cos\omega\cos\frac{\beta}{2} + \sin\omega\sin\frac{\beta}{2}\right]$$

a je-li ω malý úhel, jest

$$z_1 \doteq n\left[1 - \cos\frac{\beta}{2} + \sin\omega\sin\frac{\beta}{2}\right] = \left[n - n\cos\frac{\beta}{2}\right] + n\sin\frac{\beta}{2}.\sin\omega$$

$$\text{tedy } z_1 \doteq IL + ID.\sin\omega = z + \tfrac{1}{2}d\sin\omega$$

$$\text{a jelikož } z = \frac{d^2}{8n} \text{ i } z_1 = \frac{d^2}{8n} + \frac{d}{2}\sin\omega = \frac{d}{2}\left(\frac{d}{4n} + \sin\omega\right).$$

Velikost práce při každém kroku obnáší tedy

$p_1 = (v+b)\,z_1 = (v+b)\left(\frac{d}{4n} + \sin\omega\right)\frac{d}{2}$ a potřebná k tomu síla

$s' = \tfrac{1}{2}(v+b)\left(\frac{d}{4n} + \sin\omega\right)$. Kdyby však člověk dolů kráčel, byla by potřebná k tomu síla $s_1 = \tfrac{1}{2}(v+b)\left(\frac{d}{4n} - \sin\omega\right)$.

Nejmenší by se stala pro $\frac{d}{4n} = \sin\omega$, ponévadž by $s_1 = 0$, t. j. žádné síly k tomu potřebí nebylo. Pro svrchu zmíněný případ byl by $\sin\omega = \frac{2}{4.3} = \frac{1}{6}$, tedy sklon ω asi $9\frac{1}{2}^0$ velký, při kterém by se nejpo-

na 120 lb. počítala, obnášela by denní práce

$120 . \frac{2}{5} . 8 . 60 . 60 = 1{,}382.400$ librostop, a za sekundu $120 . 0{\cdot}4 = 48$ librostop, tedy méně než se obyčejně počítává. Z toho vysvítá, že člověk denně ve směru vodorovném $12\frac{1}{2}$krát tolik cesty konati může, co ve směru kolmém, nebo $17{,}280.000 : 1{,}382.400 = 12{\cdot}5$. Po rovině by obnášela tato cesta (dle 6.) $4' . 10 . 60 . 60 = 144.000' = 24.000^0 = 6$ mil; kolmo do výšky by však člověk za den ani celé $\frac{1}{2}$ míle nepřišel.

Podobné rozdíly se objeví, pozorujeme-li práci člověka, když nějaké břemeno nese. Tak se ukázalo, že člověk po rovině denně 7 hodin 70 liber nésti může s rychlostí $2{\cdot}4'$, z čehož denní práce $70 . 2{\cdot}4 . 7 . 60 . 60 = 4{,}233.600$ a za sekundu 168 librostop povstane, když se na váhu těla jeho žádného ohledu nebeře.

Jinak to vypadá, když člověk břemeno do výše zvedá. Tak na př. se pozorovalo, že obratný pracovník 30 liber těžkého berana (obr. 48.) při rovnání dlažby, dělání hrází, mlatů a vůbec pevných podlah za minutu 30krát $4'$ vysoko zvedá, že však vždy jen $4\frac{1}{3}$ minuty po sobě tuto práci koná, a zase tak dlouho si oddychuje, a denně jen 5 hodin pracuje. Vykonaná práce za den obnáší $30 . 4 . 30 . 60 . 5 = 1{,}080.000$ a za sekundu 60 librostop, což jen asi čtvrtý díl práce jest, kterou člověk nošením na rovině za den vykonává. Tímž spůsobem posoudila by se také práce, kdyby ji i více dělníků zároveň konalo, kdyby na př. tentýž beran tak těžký byl, aby jej zároveň dvá aneb i čtyří zvedati musili.

Obraz 48.

Právě takovým spůsobem dá se také pozorovati a posuzovati práce *koně* a jiných zvířat. U koně se pozorovalo, že denně

---

hodlněji dolů stoupalo. Taktéž by se mohly k tomu brátí i rozličné zvláštní případy, na př. $\omega = \frac{\beta}{2}$, $\omega > \frac{\beta}{2}$, a t. d. Jelikož ω od d a n závisí, jest patrno, že tento pohodlný sklon téměř u každého člověka jiné velikosti jest.

10 hodin s rychlostí $3\frac{1}{2}'$ chodí, když při tom 215 liber na hřbetě nosí, z čehož velikost denní práce 215 . 3·5 . 60 . 60 . 10 = 27,080.000 a za sekundu 752·5 librostop povstává. Kdyby jen 140 liber nositi měl, může v trysku s rychlostí 7′ denně jen 7 hodin běhati, tak že práce jeho za den 140 . 7′ . 60 . 7 = 24,696.000 a za sekundu 980 librostop obnáší. Mnohem menší vypadne velikost práce i u koně, když břemena do výše táhnouti má.

Takováto různost v stanovení a oceňování velikosti práce jest příčinou, že se práce téměř v každém jednotlivém případu a u každého stroje zvlášť pozoruje a výsledky takovéto ve zvláštní tabulky skládají, aby každému pro podobné případy při oceňování práce měřítkem býti mohly. I tomuto spisu jsou na konci takové tabulky přidány.

35. Jelikož se zvířecí tedy i lidská síla jako každá jiná váhou měřiti dá, kterou na př. člověk zvednouti, táhnouti aneb i jiným spůsobem pohybovati dovede, vysvítá, že každý svou vlastní zkušeností nejlépe svou sílu ustanoviti může. A v skutku stává lidí, kteří to cvikem tak daleko přivedli, že jen pouhým obtěžkáním váhu hmot určitě ustanovují. Poněvadž tu konečně *ústrojí těla*, *zaměstnání*, *cvik*, *stáří*, *potrava*, *zdraví*, *vůle* a j. rozhodují, jest patrno, že tu nějaké přesné měřítko pro tuto sílu ani možné není. Ano i *podnebí* má na to značného vlivu; tak jsou obyvatelé krajů jižních slabší (*Indiani* platí za nejslabší); obyvatele severu silnější; známo nám také přísloví „*jest jako Rus.*“ Také *pohlaví* dělá rozdíl, jelikož mužský silnější jest než ženská, pro kterou se sice tatáž rychlost ale jen 20 lb. síly béře. Že i pouhý *zvyk* vykonávati práci svou jistým spůsobem znamenitý rozdíl dělá, jest vůbec známo; neboť jeden nosí břemena pohodlně v rukou, jiný na ramenech, třetí v putně, čtvrtý na hlavě a t. d. a unavuje se, když jiným než již obvyklým spůsobem pracovati má. Ano kdo není zvyklý chůzi, bolívají jej nohy, aniž by jakou při tom práci konal. Ostatně i *roční čas* tu dělá rozdíl, zdali se v letě nebo v zimě pracuje; neboť práce v parnu a na dešti aneb od necvičených dělníků konaná neobnášívá ani polovinu práce, kterou obratný dělník v příhodnou

dobu koná, z čehož jasně vysvítá, že se v práci množství výminek mysliti dá.

Všecko, co zde o člověku řečeno bylo, platí také *o koni* a o každém jiném zvířeti, kde mimo to i ústrojí těla velkých rozdílů dělá. Tak se může již o koních říci, že přirozenost a ústrojí těla jejich zvláštní způsob práce pro sebe vyžaduje, neboť mnohem výhodněji dá se upotřebiti sil koně k tahu nežli k nošení, kdežto o jiných zvířatech právě opak toho platí, ano i o člověku, který břímě snáze nese, než aby je strkal nebo táhnul. Podobně učí zkušenost, že se koňské síly s malým výsledkem upotřebí, když kůň břemena na příkré kopce nositi aneb je tam i táhnouti má, poněvadž mu v tom ústrojí těla jeho překáží. Zkouškami se ukázalo, že v tomto případu tří lidé více vykonají než jeden kůň, který jinak v práci 7 lidí zastupuje. Daleko výhodnější jest však upotřebení koňské síly na rovině, na kterou je příroda takřka odkázala, což i z toho patrno jest, že se také na rovinách plémě jejich nejlépe daří.

36. Mimo svrchu zmíněné stává ještě jiných okolností, které na velikost skutečného účinku čili výsledku upotřebených svalních totiž zvířecích sil velkého vlivu mají; jestiť to *velikost síly*, *rychlosti* a *doby v práci*. Záleží mnoho na tom, jak *úsilně*, jak *rychle* a jak *dlouho* se bez přestávky pracuje. Jsouť to také podstatné případy, jimiž se zvířecí síly od přírodních sil vůbec jako od tíže, větru, páry a j. liší, jichž účinek od *rychlosti* a *trvání působnosti jejich* zcela neodvislý jest. Zkušenost mnoholetá ukázala, *že člověk, kůň a p. jen tenkráte nejvíc práce vykonati dovede, když obyčejnou střední svou sílou v obyčejné střední své rychlosti obyčejný čas pracuje*, a že práce jeho, odchyluje-li se od tohoto obyčejného *středu*, ústrojí těla a vůbec přirozenosti jeho méně přiměřena jest a právě za touto příčinou i vždy menší býti musí. Tak víme, že se člověk, který příliš velké břemeno ve svých rukou drží, pohybovati nemůže, a že naopak člověk, který se rychle pohybovati má, ničehož nésti nemůže, jako to na běhounech viděti jest, z čehož následuje, že v obojím tomto výstředním případu žádnou práci nekoná. Ostatně se každý sám na sobě často přesvědčuje, že se tím zdlouhavěji

pohybovati *musí*, čím více břemenem obtěžkán jest, a že při rychlé chůzi ničehož s sebou nositi nemůže. Že i tento zvláštní spůsob práce s člověkem jaksi sroste, jest již z toho viděti, že běhouni nic nositi, nosiči že však běhati nemohou a pravidelně jen velmi zdlouha se pohybují.

Přirozeně platí všecko, co zde o člověku řečeno bylo, také o *koních;* tak kráčí na př. jen zdlouha kůň z těžkého nákladu, opak toho však platí o koni z lehké jízdy. I zde můžeme snadno pozorovati, že se kůň, na kterém vozka sedí, mnohem více unavuje, než který prázden vedlé kráčí. To jest také příčinou, že se jezdci při jízdách o závod dříve váží a váhu svou na koni vyrovnávají, aby tak všecky koně stejně obtěžkány byly.

Co se *síly* a *rychlosti* týká, ukázala dávnověká zkušenost, že člověku obyčejného zrůstu jedno jest, zdali 30 lb. s rychlostí $2'$ aneb 20 lb. s rychlostí $3'$ nese aneb jinak pohybuje, z čehož účinek 60 librostop povstává. Tatáž zkušenost učí, že 10 lb. síly jaksi zastupuje rychlost $1'$ a naopak, tak že se rychlost o $1'$ zvětšiti může, jestli se síla o 10 lb. byla zmenšila a naopak. Z toho následuje, že člověk, když se s rychlostí $4'$ pohybovati má, toliko 10 lb. nésti může, a žeby ničeho nésti nemohl, kdyby rychlost jeho $5'$ dosáhnouti měla. Podobně z toho vysvítá, žeby 40 lb. rychlostí $1'$ nésti, 50 lb. ale toliko držeti mohl, aniž by se při tom pohyboval. Porovnáme-li tyto tři rozličné případy, jest viděti, že účinek člověka

v prvním 30 lb. $\times$ $2'$ = 20 lb. $\times$ $3'$ = 60 *librostop.*
v druhém 40 lb. $\times$ $1'$ = 10 lb. $\times$ $4'$ = 40 „
v třetím 50 lb. $\times$ $0'$ = 0 lb. $\times$ $5'$ = 0 „

obnáší. Z toho jest patrno, že účinek největší ve středu leží.

---

*) Zmíněný ze zkušenosti odvozený zákon tento dá se snáze ve formě algebraické přehlednouti. Nebo vyznačíme-li střední sílu písmenem k a střední rychlost písmenem r, jest pak rychlost největší $2r$ a síla největší $2k$, když se totiž od nuly počíná. Považíme-li, že se největší síla $2k$ v té míře zmenšuje, ve které se rychlost zvětšuje, a že pro největší rychlost $2r$ celá síla $2k$ odejmouti se musí, jelikož, jak zkušenost učí, člověk v takové rychlosti ničehož nésti nemůže, vysvítá,

Co se *doby* týká, slouží tu nejlépe známý denní čas 12 hodin. Poznamenati však sluší, že se *na skutečnou práci* jen 8 hodin počítati může, poněvadž všecko ostatní rozličnými přestávkami ubíhá. Přestávky takové stávají se *nevyhnutelné* a

---

že tvoří rychlosti, s kterými se skutečná práce koná, tentýž poměr, jako ony velikosti sil, které ukazují, oč se vždy největší možná síla $2k$ souhlasně zmenšiti musí, aby se přirozenosti člověka přiměřenou stala. Vyznačí-li se upotřebená nějaká rychlost písmenem v, jest pak $2r:v=2k:x$, tedy $x=\frac{vk}{r}$ ona část síly, která se v tomto případu od největší síly $2k$ odtáhnouti má. Skutečná síla jest tedy

$$K=2k-\frac{vk}{r}=k\left(2-\frac{v}{r}\right),$$

z čehož se, jak přirozeno, zase $K=k$ pro $v=r$, a $K=0$ pro $v=2r$ objeví a t. d. Podobně se i známé již výsledky ustanoví, když se $2{\cdot}5'$ místo r a skutečná rychlost místo v do výrazu tohoto vloží, na př. $v=1'\ldots 5'$, z čehož následuje, že se tímto výrazem vždy síla vypočte, kterou dělník při nějaké určité dané rychlosti pravidelně působí. Jelikož výraz tento všeobecně platí, hodí se i tenkráte, když $r\geqq 2{\cdot}5'$ a $k\leqq 25$ lb. jest, tak že za tou příčinou i všeobecným výrazem upotřebené síly lidské býti může. Jelikož práce P součin ze síly a rychlosti jest, ustanoví se z $P=Kv=kv\left(2-\frac{v}{r}\right)=\frac{k}{r}v(2r-v)$, z čehož vysvítá, že práce tato tenkráte největší jest, když $v(2r-v)$ největší možné hodnoty nabývá, což se pro $v=r$ stává, tedy také pro $K=k$, jak již svrchu řečeno.

Aby se i na dobu ohled bráti mohl, možno vyznačiti střední čas, ve kterém upotřebená síla K působí, písmenem t, tak že pak pro čas $2t$ upotřebená síla $K=0$, jakož zase naopak se tato síla dvakrát tak velkou stává, je-li $t=0$. Mámeť opět pro dobu d, ve které se pracovati má, $2t:d=2K:x$, z čehož $x=K\frac{d}{t}$, tedy skutečně upotřebená síla $\mathbf{K}=2K-K\frac{d}{t}=K\left(2-\frac{d}{t}\right)$, a jelikož $K=k\left(2-\frac{v}{r}\right)$, jest $\mathbf{K}=k\left(2-\frac{v}{r}\right)\left(2-\frac{d}{t}\right)$, kde i na dobu ohled vzat jest. Z toho možno ustanoviti sílu i pro takové případy, kdyby člověk více neb méně než obyčejných 8 hodin denně pracoval. Je-li na př. $d=0$ a také $v=0$, jest $\mathbf{K}=4k$, t. j. člověk může, když jen v krátkých dobách pracuje, jelikož $k=25\ldots 35$ lb. jest, i 100 lb. až 140 lb. držeti, na-

musí se *tím častěji* opakovati, čím více se síla a rychlost v práci od obyčejné střední své velikosti odchyluje. Právě tím se zase ukazuje rozdíl přírodních sil, jako páry, vody a j., kde žádných přestávek potřebí není.

---

kládati aneb skládati. Rozumí se však samo sebou, žeby se pro každého dle zvláštní okolnosti jeho k, r a t vyšetřiti musilo, kdyby se počet přesněji vésti a práce co nejvýhodněji konati měla. Jelikož se však, jak známo, jen obyčejný střední čas práce konává, nemusí se při skutečném výpočtu ani na druhého činitele ohled brátí, poněvadž $K = k(2 - \frac{v}{r})$ v takových případech již postačuje.

Na tomto základě dají se mnohé úkony skutečného života objasniti a rozličné jich okolnosti i s jakousi jistotou určiti. Jak známo, povstává tu právě tolik úloh, kolik zvláštních částí právě v tomto pro sílu vyvinutém výrazu se nachází; jako K, k, v, d a t. d. Tak se může na př. zodpovídat otázka, mnoho-li se posla uložiti může, kdyby denně 4 míle cesty za 8 hodin vykonati měl. Jestiť pro tento případ $v = \frac{10'}{3}$ tedy $\mathbf{K} = k(2 - \frac{t}{2{\cdot}5} \cdot \frac{10}{3}) \times (2 - \frac{8}{8}) = \frac{2}{3}k$ a vzala-li by se střední síla jeho $k = 30$ lb., bylo by to $\frac{2}{3} . 30$ lb. $= 20$ lb., které by nésti mohl. — Jakou silou by člověk na stříkačce působiti mohl, kdyby jen $^1/_4$ hodiny pracoval, a t. d. Koná-li vojsko své cesty s rychlostí 4′, jak daleko by denně dojíti mohlo, kdyby každý muž 30 lb. sebou nésti musil, t. zbraň a ostatní náčiní vojenské. Bezprostředně by se nalezla jen doba d, z čehož se pak dráha snadno ustanoví.

Jelikož se *upotřebení koňů a volů* v práci od hořejšího toliko velikostí síly a rychlostí liší, vysvítá, že se tento všeobecně vyznačený zákon i pro tyto síly upotřebiti dá. Čas práce přiměřený obnáší i zde 8 hodin denně, ostatní jest z hořejšího již známo. Dle toho by se také snadno vypočísti dalo, jak velká síla koně se upotřebuje, když na př., jako při vojenské jízdě, kůň 200 lb. nésti a denně 2 i 3 míle cesty konati musí. Na míli se obyčejně počítává 1 hodina a 30 minut.

Co nahoře o síle lidské a zvířecí řečeno bylo, platí i o tomto všeobecném výrazu pro ni, jelikož se na udání hořejší spoléhá. Pokud udaje tyto se skutečností souhlasí, ustanovuje výraz tento velikost práce dosti určitě, když se veličiny jeho od obyčejných středních hodnot jejich mnoho neodchylují. Jednodušeji se také vypočítává velikost síly dle: $K = k(3 - \frac{v}{r} - \frac{d}{t})$.

Je-li práce lidskému a zvířecímu tělu tenkráte nejpřiměřenější, když se střední rychlost a střední síla jeho po obyčejný denní čas upotřebuje, vysvítá, že se jí tímto spůsobem také *nejvíce* vykoná. Tím se docílí následovně dvojí výhody: jednak *ušetření sil* pracovníka, jednak *výloh*, jelikož se za tentýž plat více práce vykoná. Z toho také jde, *že nesvědomité ukládání velkých břemen dělníkům i materialní ztrátou jest.* Naopak se rozumí samo sebou, že dělník tímto spůsobem nejen tělesných sil svých ušetří, ale že i také nejvíce vydělá, když si práci nějakou celkem najme. Totéž platí i o koni a o každé jiné zvířecí síle.

37. Z předešlého následuje, že se všude střední silou a se střední rychlostí pracovati *má;* namítá se však otázka, zdali se tak i vždycky pracovati *může?* — Považíme-li, že jednak předmětů mnohem těžších stává než 25 lb., jednak že tu i množství tak lehkých jest, jichž se ani tolik oběma rukama pojmouti nemůže, aby 25 lb. obnášely, vysvítá, že vykonání práce tímto spůsobem jen tak naprosto ani možné nebývá. Má-li se výhody této docíliti, nutno tedy, aby se velká břemena dle potřeby drobila a lehká a příliš drobná přiměřeně hromadila, jako to i skutečně děláváme, upotřebujíce k tomuto účelu košíků, nůší, puten, kolců a jiného náčiní. Mnohem patrnější se stane potřeba podobných umělých pomůcek, náčiní a nástrojů, když se břemeno, převyšující daleko sílu naši, překonati aneb malé s takou rychlostí pohybovati má, která přirozenost lidskou přesahuje. Jsou-li pomůcky tyto, vůbec *stroje* nazvané, důležité ano i potřebné pro člověka, který téměř *každou práci svýma rukama konati může,* musí býti mnohem důležitější, ano stávají se nevyhnutelné v takových případech, kde sil koňů, volů a j. ku práci upotřebiti chceme, kterých se hlavně jen k tahu užívá. Jednak zmíněná výhoda, které se strojem při práci docíliti dá, jednak nemožnost, aby se bez strojů mnohé práce konati, ano i mnohé zvířecí a jiné přírodní síly upotřebiti daly, ukazuje dostatečně *důležitost strojů,* následovně i veškerého *návodu k poznání, k posuzování a hotovení* jejich čili **strojnictví.**

Jako u práce naší, šetřiti třeba i u strojů zmíněných zákonů, ačkoli se tam práce v rozličném spůsobu objevuje. Tak víme, že pila tím více pracuje, čím hloub zařezává, že mlýn více práce koná, když kámen v tétéž době více zrnek rozmílá a t. d. V některých případech se ovšem poněkud již na základě zmíněných pravd ustanoviti dá, jak asi zařízeny býti mají, aby se v práci co možná výhodnými staly. Tak na př. můžeme říci, že nůše, putny a p. dosti velké býti musí, aby potřebné množství zboží pojímaly, ale že zároveň co možná lehké býti mají, aby nošením jich mnoho síly na zmar nepřicházelo. Těžší jest úloha tato při náčiní a strojích složitějších, má-li se na př. ustanoviti, jak kolec zřízen býti má, aby se ho co možná výhodně použilo. Avšak již zde vysvítá, že se zákon o upotřebení střední síly při práci strojem a náčiním nikdy dokona nepostihne, tedy i neuskuteční, a že se k němu tím jen jaksi *přibližujeme*, jelikož nošení i prázdné nůše již prací jest, která se však na zmar koná.

38. Hlavním účelem strojů zůstane vždy *skutečná práce*, která se jimi konati má, tedy překonávání břemena na nějaké dráze. Strojem se má tedy přenášeti na danou hmotu *síla* i *pohybování*. Aby se oboje s určitostí přehlédnouti a ustanoviti dalo, jest zapotřebí uvědomit si všecky zákony, jimiž se upotřebení strojů při práci řídí, aby se z těchto i opáčně na zařizování strojů samých souditi mohlo. Kdybychom tyto zákony na pohybujících se strojích pozorovati a stanoviti chtěli, shledali bychom hned, že se tímto spůsobem žádné určitosti docíliti nedá. Příčina leží v tom, že se rychlostí, která se ustavičně mění, vždy zvláštní a napořád jiné a jiné případy a poměry naskytují, tak žeby se pravost takto vyvinutých zákonů toliko k nějaké určité době, ano i jen k jednomu okamžiku vztahovati musila, která se konečně ani vytknouti ano ani tak mysliti nedá, aby si ji současně i každý jiný právě tak mysliti mohl. V měnícím se stále pohybování strojů nemůže býti žádného základu, ze kterého by se zákony odvozovati daly. Potřeba tu tedy *takových okolností*, od kterých by se co od *základu nezměnlivého, stálého a všeobecně známého* vycházeti mohlo, aby se pak i

všecko ostatní odtud určiti a ustanoviti dalo. Nejsou-li však stroje v pohybu, nastane klid a s klidem mizí všecka práce; namítá se tedy otázka, zdali a jak by se stroje v klidu pozorovati a posuzovati daly?

Vůbec známo, že kde pohybování, všude síla jest; neplatí to však také naopak, aby se také všude, kde síla jest, pohybování jeviti musilo. Mluvilo se stále o výslednici, jakožto o nějakém nutném následku upotřebení sil; namítá se však otázka, zdali se i skutečně všude, kde síly působí, výslednice objeviti musí? — Pozorujeme-li působnost sil, snadno se přesvědčíme, že síly často i po delší čas působí, anižby kde výsledku nějakého pozorovati bylo. Přirozenáť jest tedy otázka, jak se tomu rozuměti má, jelikož se síly bez výsledku ani mysliti nedají, ano jelikož nám teprv z výsledků na síly souditi jest? — Nedá-li se působící síla bez výsledku ani mysliti, jest přirozeno, že každá upotřebená síla svůj výsledek nutně má, a jestliže ho pozorovati není, čili jestli se vůbec neobjevil, že silou jinou zrušen býti musil. Že to tak skutečně býti může, vysvítá již z toho, že se každý libovolný počet sil v jednu složiti a taková výslednice jejich vždy zrušiti dá, upotřebí-li se síly stejné velikosti působící na tentýž bod ve směru protivném. Vyznačí-li se dle obecného zvyku tyto síly váhou, musíme říci, že pak na tomto bodu v obou protivných směrech *rovná váha* působí, čili jak jsme si říkati uvykli, že tu **rovnováha** (Gleichgewicht) jest. Kdyby v případu tomto síly i v dosti velkém počtu působily, vypadá to přece tak, jakoby tu žádné nebylo.

Jelikož v rovnováze na strojích *klid* máme, kterého potřebí, aby se pozorovati mohly, a jelikož současně také na ně *síly působí*, jichž účinek se stanoviti má, vysvítá, *že důležitou věcí jest, aby se přede vším podmínky rovnováhy na strojích ustanovily, než se o nich co jiného souditi má.* Poněvadž to silám jedno jest, zdali na bod nějakého stroje aneb jakéhokoli pevného celku působí, jest patrno, že se dříve *o rovnováze sil vůbec* jednati, tedy ustanoviti musí, *co ve všech případech svou platnost má*, poněvadž se rovnováha na strojích jen co *zvláštní jednotlivý případ* zákona tohoto objevuje. Jasněji se toho potřeba ukáže, považíme-li

že *všecko*, tedy i *každé náčiní strojem býti může*, kterého se tak užívati dá, aby se v skutečné práci upotřebená síla s dráhou, kterou koná, v jiném poměru jevila, abychom jiné rychlosti aneb jiného směru nabyli, než jakých nám upotřebená síla svou přirozeností sama poskytuje, *tak že všecko strojem jest, co k tomu slouží, aby se účinek v jiných místech a jinak jevil, než kde a jak upotřebená síla sama působí.* Odtud patrno, že by z toho, kdyby se všem těmto případům zvlášť vyhověti mělo, úloha nekonečná povstati musila. *)

*) *Staří* kráčeli v tomto ohledu právě opáčnou cestou. Nenapadlo jim vyhledávati *podmínek rovnováhy*, od kterých nyní vycházíme, než začínali vždycky u *pohybování*, které již i tím zvláštních obtíží poskytuje, že se celkem ani sledovati nedá. Ze spisů *Aristotelových* jasně vysvítá, že tento filosof a jak se podobá i všickni předchůdcové jeho o podstatě rovnováhy a pohybování jen zamotané ano i nepravé náhledy měli. Teprv *Archimed* (nar. 267, +212 před Kr. P.) učinil tím značný pokrok, že důmyslně vyvinul počátky *statiky* na základě věty o *těžišti*; ukázal totiž, že poměr sil vždy vyznačen jest převráceným poměrem ramen páky. Tím položil základ k statice tedy i k *mechanice*, tak že od těch dob více nebylo těžkou věcí, aby se tyto jeho základní věty ve své všeobecnosti dále vyvinuly. Avšak následovcové Archimedovi nepřičinili se ničím k tomu, než sledovali zvolna jeho šlepěji, aniž by byli statiku něčím obohatili. Tak se také stalo, že se podmínky rovnováhy jen velmi zdlouha a pro každý jednotlivý případ zvláště stanovily, čímž pak ovšem duch lidský také na rozličné nové strojnické nálezy veden byl.

Zdali již *Archimed* rovnováhu od pohybování jasně rozeznával, nedá se určiti; jisto jest ale, že nikdo z následovců jeho v středověku tohoto rozdílu nedělal. Ano může se tvrditi, že ani povždy to uchováno nebylo, co byl *Archimed* ve vědě uskutečnil, poněvadž středověcí následovcové Archimedovi ducha jeho *ani nepochopovali*. Světlo, které *Archimedem* na okamžení vzniklo, jakoby bylo hned za ním zase zhasínalo, a stará tma a zmatenost nastoupila zase svou vládu a trvala asi 2000 let, až k našemu vlastenci *Kopernikovi* (nar. 1473 a zemř. 1543), který svět duchem svým na nově a na vždy osvítil.

Jak již zmíněno počal *Stevin* stanoviti, kdy rovnováha v jednotlivých případech býti může, ale teprv *Varignon* probírá ve spisu svém (1752) důkladněji a téměř všeobecně podmínky rovnováhy. *De la Hire* to konečně důmyslem svým zdokonalil.

ROVNOVÁHA.

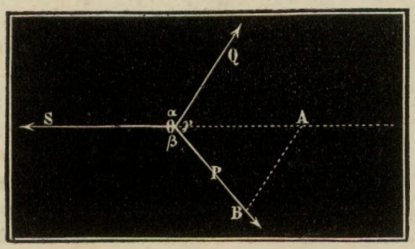
A. Rovnováha sil vůbec.

39. Z předešlého vysvítá, že k docílení rovnováhy jen síly třeba, která rovna výslednici na tentýž bod ve směru protivném působí, aby účinek její zrušiti mohla, z čehož následuje, že se snadno ustanoviti dá, kdy ve všech zvláštních případech rovnováha býti musí. Odtud patrno, že ustanovením výslednice zároveň i podmínky rovnováhy ustanoveny jsou. Nicméně stává také případův, že více na tentýž bod působících sil se vespolek v účinku docela ruší čili že samy o sobě rovnováhu tvoří, aniž bychom se k tomu nějakým umělým spůsobem přičiniti musili.

Působí-li více sil v nějaké přímce na tentýž bod, třeba jen, aby výslednice jejich v jednom směru právě tak velká byla, jako výslednice jejich ve směru protivném, aby se vespolek účinek všech sil zrušil.

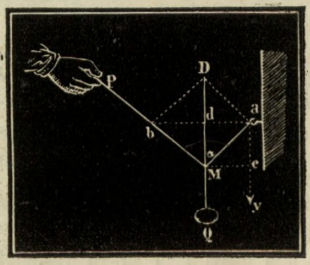
Jsou-li to však tři síly P, Q, S (obr. 49.), které v rozličných směrech na tentýž bod působí, musí výslednice sil P a Q velikost a protivný směr síly S míti, aby se vespolek zrušily. Podobně by musila míti výslednice sil P a S velikost síly Q a působiti ve směru jí protivném. Totéž platí o síle třetí P, tak že všeobecně

Obraz 49.



pro tento případ výslednice libovolných dvou sil protivný směr a tu velikost míti musí, jako síla třetí, když rovnováha býti má. *) Je-li na př. síla $P = Q$, musel by prodloužený směr síly S úhel jejich γ půliti; totéž platí o ostatních, tak že kdyby všecky tři síly sobě rovny byly, $P = Q = S$, i úhly jejich by vespolek sobě rovny býti musily, tedy $\alpha = \beta = \gamma = 120^0$. Představíme-li si, že přímky, kterými se síla P a Q vyznačuje, pevné tyče jsou a že síla S v protivném směru působí, obdržíme podmínky rovnováhy pro *koleno*, o kterém svrchu jednáno bylo.

Obraz 50.



Kdybychom tedy na provaz, který jedním koncem a (obr. 50.) na háku upevněn jest, závaží Q v bodu M na kroužku zavěsili, snadno ustanovíme, jakou silou P se na druhý konec jeho působiti musí, aby se v rovnováze udržel. Výslednice dvou, ve směrech Ma a Mb působících sil musí právě tak velká býti, jako břemeno Q, a působiti ve směru protivném. Vyznačíme-li závaží Q v protivném směru velikostí MD a rozložíme tuto sílu na složky její, obdržíme je u velikosti Ma a Mb. Jelikož se však Q na kroužku volně po šnůrce pohybovati může, jest přirozeno, že se vždy tak postaví, aby na-

---

*) Pro počtáře jsou důležitější podmínky, které se z trojúhelníka sil OAB pro tento případ odvoditi dají. Jelikož tam

$$OB : BA : AO = P : Q : S \text{ a také}$$

$$OB : BA : AO = \sin(180-\alpha) : \sin(180-\beta) : \sin(180-\gamma) = \sin\alpha : \sin\beta : \sin\gamma$$

jest, následuje z toho:

$$P : Q : S = \sin\alpha : \sin\beta : \sin\gamma = \sin(QS) : \sin(PS) : \sin(PQ),$$

t. j. je-li rovnováha, tvoří síly takové poměry mezi sebou, jako sinusy protilehlých úhlů, čili sinusy úhlů dvou ostatních sil. Přirozeno, že i opáčně soudíváme, že totiž rovnováha býti musí, když sinusy zmíněných úhlů tak se k sobě mají, jako jsou protilehlé síly.

Ačkoli tato věta třech na tentýž bod působících sil vzhledem na pohybování již dávno známa byla, vyřkl ji teprv *Varignon* určitě vzhledem na rovnováhu, tak jak vyvinuta byla, a přenesl ji do statiky. Proto také nazývali fysikové dlouhý čas tuto větu větou *Varignonovou*.

pnutí provazu na obou stranách stejné bylo, čili aby se rovnala síla $Ma = Mb$, z čehož následuje, že se směrem břemena DM úhel provazu v M na dvě α půlí. Je-li tedy délkou MD vyznačena velikost břemena, značí nám Mb velikost síly, která je v úhlu 2α na provaze v klidu čili v rovnováze udržuje. Kdyby se ještě o účinek těchto sil na hřebík jednalo, třeba jen složku aM tak rozložiti, aby jedna část její ad do směru vodorovného, druhá do směru svisného ay padla. Nyní jest patrno, že se hřebík tak pevně ve stěně držeti má, aby se tím síla ad, která jej ze stěny táhne, zrušila, a že tak silný býti musí, aby síle ae vzdorovati mohl, která jej zlomiti se snaží. Pozorujeme-li tyto dva účinky, shledáme, že upotřebená síla P hřebík tím větším úsilím ze stěny táhne, čím úhel α větší jest, poněvadž se sama, jak nahoře (21. *b.*) vysvětleno, také tím větší státi musí. Co se však lomu jeho týká, snadno se přesvědčíme, že síla tato ve všech případech polovinu závaží Q obnáší, poněvadž $ae = DM$, tedy vždy $\frac{1}{2}DM = \frac{1}{2}Q$ jest. *)

---

*) Značí-li 2α úhel, který provaz u M tvoří, jest pak složka

$$Ma = Mb = P = \frac{Q}{2\cos\alpha}$$ (dle 21. b.) a z toho povstane

$$ad = P \sin a = \frac{Q}{2} \operatorname{tang}\alpha \quad \text{a} \quad ae = P\cos\alpha = \frac{Q}{2}.$$

Síla, která hřebík ze stěny táhnouti se snaží, závisí tedy od úhlu α. Z toho jest patrno, že se provaz se závažím nijak do přímé čáry vytáhnouti nedá, poněvadž by tu pak $\alpha = 90°$ bylo, následovně

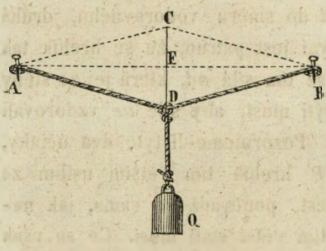
$$P = \frac{Q}{2.\cos 90} = \frac{Q}{2.0} = \frac{Q}{0} = \infty$$

t. j. upotřebená síla nekonečně velká býti musila. Je-li $\alpha = 45°$, tedy $\operatorname{tang} 45° = 1$, obdržíme pro tento případ $ad = \frac{1}{2}Q$, a t. d. Považíme-li, že i na provaze neobtěžkaném síla působí, totiž v těžišti váha jeho, která jej k zemi táhne, vysvítá, že se také *žádný provaz aneb řetěz do přímé čáry vytáhnouti nedá*, poněvadž každý těžký jest.

Síla, která hřebík zlámati se snaží, jest $ae = P\cos\alpha = \frac{Q}{2}$, nezávislá tedy od úhlu. Z toho následuje, že ve všech případech na zlámání skoby $\frac{1}{2}Q$ působí, ať již u M úhel jakýkoli jest. Úhlem se následovně mění jen působnost horizontální; vertikální obnáší ve všech případech $\frac{Q}{2}$, t. j. polovinu zavěšeného břemena.

40. Jelikož jedno jest, působí-li síla *P* na jednom konci provazu, aby na něm zavěšené závaží udržovala, aneb zavěsí-li se i tento konec provazu na pevný hák, který zavěšenému závaží vzdorovati může, jest svrchu zmíněným případem již i tento zdánlivě nový vysvětlen.

Obraz 51.

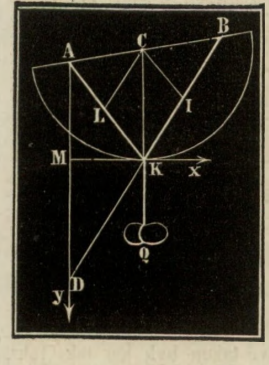


K lepšímu objasnění můžeme si představiti provaz (obr. 51.), který konci svými na dvou hákách *A* a *B* ve vodorovné čáře upevněn jest, a na kroužku volně zavěšené závaží *Q* udržuje. Příklad máme na svítilnách na cestách a silnicích našich, které kroužkem na provaze aneb na drátu zavěšeny jsou, aby se z místa na místo šoupati nechávaly. Abychom si velikost napnutí provazu znázornili, třeba jen povážiti, že zde tři síly na tentýž bod *D* působí, totiž váha břemena *Q* a napnutí provazu *AD* a *BD*. Utvoříme-li si rovnoběžník sil, objeví se váha *Q* u velikosti *CD* a napnutí provazu co *AD* a *BD*. Poněvadž *AD* a *BD* složky jsou, do kterých se výslednice $Q = CD$ rozkládá, jest již z hořejšího (21. *b.*) patrno, že složky tyto, tedy napnutí provazu tím větší býti musí, čím úhel jeho u *D* větší jest, čili čím více se provaz k vodorovné *AFB* sblížiti má. Kdyby naopak *Q* čili *DC* i sebe menší bylo, postačuje přece vždycky velikost jeho, aby se na provaze rovnoběžník sil objevil, tedy provaz z vodorovné *AFB* vyšinul. Odtud patrno, že k tomu i pouhá váha provazu aneb řetězu postačuje, tak *že se žádný provaz dokona do rovnosti vytáhnouti nedá.* Z toho následuje, že jen nepatrné síly potřebí jest, aby se i sebe více napnutý provaz z rovnovážné polohy své vyšinul, jako na př. struna na harfě, houslích a j. Z toho jde, že se silně napnutý provaz i nepatrným rázem aneb závažím přetrhnouti dá, ano že se i držebnost provazů takto zkoušeti může, když se na ně určitá známá závaží zavěšují a vždy odchylka *DF* měří, z toho pak síla vypočítává, kterou provaz napnut jest. Tím se také vysvětluje, proč se malou silou provaz a špagat, kterým za-

vazadla naše obvinujeme, silně napíná, když jej poněkud ve směru kolmém vytahujeme, asi tak, jako se to s břemenem Q na obraze 51. děje, poněvadž úhel u D velký jest.*)

Jiný příklad toho pozorovati můžeme, když háky, na nichž provaz zavěšen jest, v nestejné výši stojí, jako A a B na obraze 52.

Obraz 52.



Je-li závaží Q na provaze volně na př. kroužkem zavěšeno, vyhledá se pomocí hybného kroužku takové místo, kde nejhlouběji státi bude, jelikož by jinak z každé vyšší polohy do hlubší tíhou svou spadnouti musilo. Představíme-li si plochu v podobě oblouku, který by kroužek K pohybováním svým na provaze opsati musil, jest patrno, žeby i každé jiné těleso, které by se na této ploše volně pohybovati mohlo, také do nejhlubšího místa padalo. Nejhlubší místo, ve kterém by se hmota na volném

*) Napnutí provazu AD se ustanoví z $DF = AD \cdot \sin DAF$, z čehož $AD = \frac{DF}{\sin DAF}$. Jelikož $AD = S$ a $DF = \frac{1}{2} DC = \frac{1}{2} Q$, jest $S = \frac{Q}{2 \sin DAF}$. Poněvadž se však odchylka $DF = v$ od vodorovné AB v skutečnosti mnohem snáze ustanoviti dá, než úhel $\sphericalangle DAF$, béře se raději $\frac{v}{DA}$ místo $\sin DAF$, tak že S v $S = \frac{Q}{2\frac{v}{DA}} = \frac{Q \cdot DA}{2v}$ přechází.

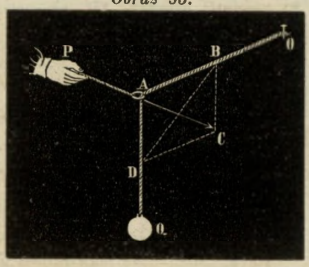
Z toho vysvítá, že při tomtéž v napnutí provazu tím větší býti musí, čím závaží těžší a čím provaz delší jest, t. j. čím větší se Q a DA stává. Mění-li se také v, jest napnutí provazu tím větší, čím menší v při ostatně stejných okolnostech, t. j. při tomtéž Q a AB, z čehož opět následuje, žeby pro $v = 0$ $S = \infty$ býti musilo.

Z toho se dá také snadno vypočísti odchylka d od vodorovného směru, kterou by provaz měl, kdyžby jedním koncem na hák zavěšen, druhým však silou P ve směru vodorovném napnut byl a žádné závaží Q na něm nevisselo. Sejme-li se z provazu závaží Q, objeví se provaz v podobě křivky a nejnižší bod jeho zajme střední místo mezi F a D, tak že $DF = v = 2d$ bude. Vyznačí-li se délka provazu písmenem L, a váha jeho, která místo Q v bodu D působí, písmenem V, jest $DA = \frac{1}{2} L$ a $S = \frac{V \cdot \frac{1}{2} L}{2.2d} = \frac{V.L}{8d}$ a z toho $d = \frac{V.L}{8S}$.

kroužku zastaviti a následovně v rovnováze býti musila, dá se jednoduše ustanoviti. Vede se totiž z nižšího hřebíku *A* přímá čára *Ay* v tom směru, ve kterém Q působí, zde tedy svisno, a na tuto svisnou *Ay* se položí celá délka provazu *BD*. Tím se obdrží část svisné *Ay*, totiž *AD*, která se bodem *M* rozpůlí, aby se v tomto bodu na *AD* kolmá čára *Mx* sestrojiti mohla. Bod *K*, ve kterém se tato kolmá s přímkou *BD* a zároveň i s obloukem stýká, značí polohu kroužku s předmětem. Kdyby místo předmětu Q nějaká jiná síla na hybném kroužku působila, nezměnilo by se nic na věci. K ustanovení polohy kroužku *K* bylo by jen potřebí, aby se z bodu *A* přímá čára v takovém směru vedla, v jakém by upotřebená síla tato působila *).

Co se konečně působnosti břemena Q na provazy a provazů na skoby týká, platilo by zde všecko, co již nahoře (39.) o tom řečeno bylo. Tak by se utvořením rovnoběžníka dokázalo, že směr břemena úhel provazů půlí; totéž by se objevilo, kdyby provaz, na kterém závaží zavěšeno jest, kroužkem procházel a tímto rukou ze svisné polohy své tažen byl, asi tak, jak to obraz 53. ukazuje. Musilo by napnutí části jeho *AB* právě tak velké býti, jako jest napnutí části *AD*, a směr provazu s kroužkem *AP* by pak úhel *BAD* nutně půlil, což by se i sestrojením rovnoběžníka *ABCD* objasnilo. Nebo kdyby napnutí v *B* větší bylo než v *D*, táhnul by se provaz kroužkem nahoru a naopak. Poněkud jinak to vypadá, není-li

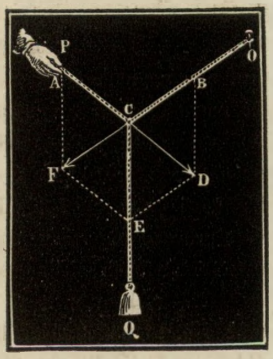
Obraz 53.



*) Třeba si jen povšímnouti, že kroužkem opsaný oblouk půl *elipsy* vyznačuje, kde onen bod nejnižší jest, jehož tečná vodorovně běží. Všeobecně se obdrží tento nejhlubší bod, když se tečná kolmo na směr síly na elipsu sestrojí. Jelikož kolmá *(normála)*, která se v tomto bodu na tečnou vede, úhel obou paprsků elipsy AK a BK, které zde místo složek zastupují, půlí, jest patrno, že napnutí provazu na obou stranách stejné jest, t. j. LK = JK, když se délkou KC velikost síly Q vyznačí, což ostatně i z předešlého (39.) vysvítá.

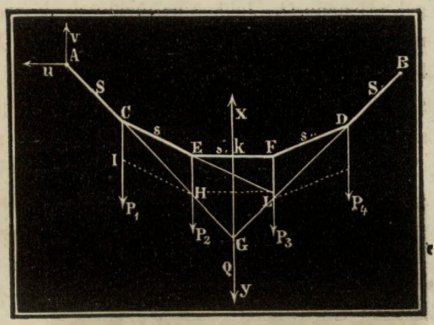
postranní provaz AP kroužkem opatřen aneb nemůže-li se kroužek takový na provaze volně pohybovati. To se stane, je-li na př. kroužek, jak to obr. 54. ukazuje, s provazem v bodu A uzlem pevně spojen, ačkoli se tu zase již shora (39.) zmíněný případ, kde tři rozličné síly na tentýž bod působí, opakuje. Dle toho by musila výslednice CD obojího napnutí provazu CE a CB právě tak velká býti, jako upotřebená síla $P = CA$. Napnutí provazu B bylo by tak velké, jako výslednice ze síly P a břemena Q, totiž CF. Z toho jest zase patrno, že i zde napnutí jednotlivých částí provazů od úhlu směrů jejich závisí.

Obraz 54.



41. Úloha tato dá se však ještě více rozvésti, když provaz na obou koncích v A a B (obr. 55.) upevníme, na př. na skoby zavěsíme, a na rozličných místech jako v C, D, E a F závaží P_1, P_2, P_3 a P_4 pevně s ním spojíme, tak že tolik uzlů povstává, kolik závaží se na ně bylo zavěsilo. Co svrchu o jednom uzlu řečeno bylo, platí zde o každém jednotlivém. Za základ pozorování musí se vzíti rovnováha, která se v krátké době dostaví, když se na provaz závaží byla zavěsila, aby viděti bylo, jaké seřadění provazu a úhlů vyžaduje. Pozorujeme-li na př. v uzlu C působící tři síly, totiž závaží P_1, napnutí provazce $AC = S$ a ono v $CE = s$, musí býti napnutí S tak velké, jako výslednice z napnutí s a váhy P_1. Prodlou-

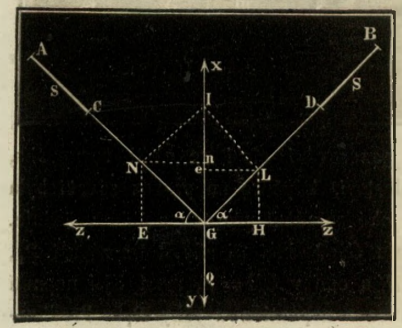
Obraz 55.



žíme-li směr AC a utvoříme si tak rovnoběžník sil $CEHI$, aby se napnutí provazu s právě touto stranicí $CE = s$ poměrně vyznačilo, obdržíme pro poměrnou velikost napnutí provazu průsečnou CH, a pro P_1 stranici CI, z čehož vysvítá, že napnutí hořejší části provazu $AC = CH = S$ větší jest než dolejší $CE = s$, t. $S > s$. Taktéž by se ukázalo, že napnutí s' menší jest než s, jelikož v rovnoběžníku $HEFL$ $EL > EF$; podobně že napnutí $s'' = DF$ menší jest než $S' = DL$ a t. d. Příčina leží v tom, že pro napnutí s působnost závaží P_1, a taktéž pro napnutí s' závaží P_2 a t. d. odpadává, poněvadž jen na výše ležící části provazu působí. Z toho se dá souditi, že se nejhořejší část provazu nejvíce napíná, tak že se i konečně provaz při ostatně stejných okolnostech nahoře nejdříve trhati musí.

Kdybychom napnutí S s napnutím S' porovnávati chtěli, možno si to tak představiti, jakoby v bodu C síla S směrem CA a v bodu D síla S' směrem DB působila. V takovémto případu, jak svrchu řečeno, třeba jen tyto směry tak prodloužiti, až se ve společném bodu G stýkají, tak že pak věc tak vypadá, jakoby v tomto bodu tři síly působily, S totiž a S' a pak břemeno Q. Jelikož na těchto dvou provazech všecko spočívá, musí Q všecka závaží zastupovati, tedy $Q = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$ býti; nebo působí-li všecka závaží v témž směru, rovná se výslednice součtu jejich. Aby se věc jasněji objevila, představme si tyto částky provazu AC a BD samy o sobě, jak to obr. 56. ukazuje. Má-li se proměněná velikost napnutí provazu S a S' znázorniti, třeba jen zmíněnou výslednici Q, která v rovnováze tak velká býti musí, jako výslednice sil S a S', vyznačiti délkou GI a sestrojiti rovnoběžník $GLIN$, kde se S v poměrné velikosti co GN a S' co GL objeví.

Obraz 56.



Rozloží-li se nyní $S = GN$ a $S' = GL$ dle osy xy a zz', aby se působnost jejich ve směru vodorovném a ve směru svisném ustanovila, ukáže se, že působení jejich do z právě tak velké býti musí jako působení do z', poněvadž GH právě tak velké jest jako GE. Konečně se to také ani jinak mysliti nedá, protože by bod G v rovnováze býti nemohl, kdyby napnutí k oběma stranám stejné nebylo. Z věci také vysvítá, že napnutí vodorovné GE č. GH tím menší bude, čím více směr provazu AC a BD směru kolmému se přiblíží, tak že by konečně v tomto směru zcela zmizelo; a naopak že tím více roste, čím úhel α menší jest. — Působnost do Gx musí se, jak svrchu zmíněno, vyrovnávati Q, t. j. veškerému závaží. Odtud patrno, že y směr výslednice a bod K (obr. 55.) těžiště celku čili působiště všech zde upotřebených sil jest.

Z předešlého následuje, že Q obě dvě skoby A i B stejnou silou totiž $GE = GH$ ze stěny táhne a že k lomu skoby v A úsilím Gn a v B úsilím Ge působí, tak že skoba svou pevností ve směru u a v těmto silám vzdorovati musí. Podobně bychom si mohli mysliti, že provaz v uzlu C (obr. 55.) na skobu zavěšen jest, a porovnávati napnutí jeho s v CE s napnutím S', a tu bychom zase shledali, že vodorovná působnost obou stejná jest a že jen svisná se od sebe lišiti bude. Totéž by platilo o každé části provazu, když bychom napnutí jeho s S aneb i s jakýmkoli jiným porovnávali. Ostatně se rozumí samo sebou, žeby vyvinuté věty i tenkráte svou platnost míti musily, kdyby místo zavěšeného závaží více sil v takovýchto uzlech rovnoběžně na provaz působilo. *) Vezme-li se rovnováha za základ a

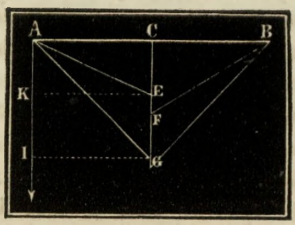
*) Jelikož se každý uzel za působiště tří sil považovati dá, jest (obr. 55.)

$$S : s = \sin ECI : \sin ACI$$
$$s : s' = \sin FEH : \sin CEH$$
$$s' : s'' = \sin DFL : \sin EFL$$
$$s'' : S' = \sin BDP_4 : \sin FDP_4$$

a t. d., z čehož $S : S' = \sin BDP_4 : \sin ACI$ povstane, a podmínky rovnováhy vyznačuje. Taktéž bychom mohli z toho S s s nebo s s s' aneb vůbec napnutí jakýchkoli dvou částí provazu vespolek porovnávati.

Považíme-li, že $\measuredangle BDP_4 = \measuredangle BGy$ a $\measuredangle ACI = \measuredangle AGy$, tedy i

Obraz 57



ustanoví-li se velikost svisného a vodorovného úsilí pro každou část provazu, snadno se směr i napnutí provazu ve všech částech jeho sestrojí. Působí-li na př. napnutí provazu ve směru kolném velikosti *AI* (obr. 57.), ve směru vodorovném velikostí *AC*, nemůže býti směr jeho leč směr výslednice těchto dvou sil *AG*.

$S : S' = \sin BGy : \sin AGy$ vysvítá, že se tu jen známý již nahoře (39.) vyvinutý případ opakuje.

Známe-li souhrn zavěšeného závaží Q a směr nejvyšších částí provazu AC a BD, snadno ustanovíme vodorovnou i svisnou působnost břemena na provaz ve všech částech jeho. Jestiť totiž (obr. 56.) vodorovné napnutí $GE = GN \cos \alpha = S \cos \alpha$. Jelikož však

$$S : Q = \sin LGy : \sin NGL = \sin (90 + \alpha_1) : \sin (\alpha + \alpha_1)$$ čili

$$S : Q = \cos \alpha_1 : \sin (\alpha + \alpha_1) \text{ tedy } S = Q \frac{\cos \alpha_1}{\sin (\alpha + \alpha_1)}$$

jest, obdržíme $GE = Q \frac{\cos \alpha \cos \alpha_1}{\sin (\alpha + \alpha_1)}$. Kdyby na př. směry obou provazů stejné byly, tedy $\alpha = \alpha_1$, měli bychom

$$GE = Q \frac{\cos \alpha^2}{\sin 2\alpha} = \tfrac{1}{2} Q \operatorname{cotg} \alpha, \text{ tedy vůbec } GE = f(\alpha).$$

Kdyby $\alpha = 90^0$, byla by $\operatorname{cotg} 90^0 = 0$ a $GE = 0$; kdyby však $\alpha = 45^0$, tedy $\operatorname{cotg} 45^0 = 1$, bylohy $GE = \tfrac{1}{2}Q$. Pro $\alpha = 0$ byla by $\operatorname{cotg} 0 = \infty$ a následovně $GE = \infty$, což nemožnost výjevu tohoto ukazuje. Působnost svisná jest $Gn = GE \operatorname{tang} \alpha$ čili když GE známo není,

$$Gn = S \sin \alpha = Q \frac{\sin \alpha \cos \alpha_1}{\sin (\alpha + \alpha_1)}$$ Kdyby $\alpha = \alpha_1$ bylo by

$$Gn = Q \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{\sin 2\alpha} = \tfrac{1}{2} Q,$$ tedy ve všech případech neodvislé od úhlu.

Jelikož se dle předešlého působiště sil *u* a *v* (obr. 55.) z bodu *A* do *C* přeložili dá, zruší se svisnou *v* docela složka P_1, tak že na druhé části provazu CE, EF a t. d. žádného vlivu nemá a jen na AC působí. Kdyby se tyto síly z bodu *C* zase dále do *E* přeložily, zrušil by se tam účinek síly P_3, z čehož zase vysvítá, že P_2 na *EF* žádného vlivu míti nemůže a t. d. Odtud patrno, žeby se všecky zde působící síly do téhož bodu přeložili daly, tak že by se tím známý již případ objevil, kde více sil na tentýž bod působí.

Pro napnutí svisné v s odpadává závaží P_1, které délkou IK vyznačiti můžeme, tak že tu jen síla AK a tatáž vodorovná AC zbývá, jichž výslednice AE velikost i směr napnutí s v poměrné velikosti představuje. Totéž bychom obdrželi na druhé straně; nebo napnutí vodorovné jest na obou stranách stejné, tedy $AC = BC$. Vyznačí-li se napnutí svisné v S' velikostí CG, byl by směr provazu BG a t. d., z čehož vysvítá, že se tímto způsobem směr a velikost napnutí všech částí provazu v poměrné velikosti znázorniti může.

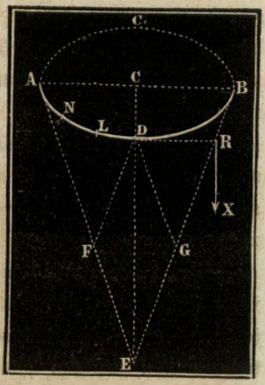
Návod hořejší ukazuje, že napnutí svisné od polohy provazu nijak nezávisí, poněvadž zavěšeným závažím ustanoveno jest; napnutí vodorovné že se však úhlem α mění (obr. 56.), a tedy délkou provazu poněkud říditi dá. Z toho následuje, že delší na tytéž skoby A a B zavěšený provaz více snese než kratší, poněvadž u kratšího úhel α malý a odtud napnutí vodorovné velké jest, což u dlouhého v té míře není, jelikož se úhel α délkou provazu zvětšuje.

42. Jsou-li na provaze závaží u větším počtu tak zavěšena, aby ve směru vodorovném jedno od druhého stejně vzdáleno bylo, jako tyče u železných mostů, na kterých podlaha spočívá, rozloží se provaz aneb řetěz v podobu *paraboly*, t. j. takové křivé čáry, jakou šikmo do výšky hozený kámen opisuje a jakou nám na zmíněných mostech řetěz *poněkud* znázorňuje, když most na všech místech stejně obtěžkán jest. Tato podoba by se na visacích mostech zúplna uskutečnila, kdyby na př. řetězy buď bez váhy aneb poměrně k nákladu na mostě dosti lehké byly.

Zavěsí-li se na obou koncích ve všech částech dosti volně hybný provaz, řemen, řetěz aneb nit (obr. 58.), objeví se tím křivá čára $ALDB$ zvláštního druhu, nazvaná *řetěznice* čili *čára řetězová*. Podobně ji pozorovati možno, když se vítr do plachty opírá, když se na řetězích aneb na dlouhých provazech hmoty, na př. lodě táhnou a p. Jelikož řetěz ano i provaz z velikého počtu článků čili vůbec částí se skládá, které vesměs těžké jsou, vypadá to tak, jakoby na netěžké niti v malých vzdálenostech stejné závaží zavěšeno bylo, z čehož následuje, že i o jednoduchém řetězu a provaze vše platiti musí, co svrchu o obtěž-

kaném řečeno bylo. Jak známo, jest napnutí vodorovné ve všech částech zavěšeného provazu aneb řetězu stejné. V nejnižším bodu *D* nemá provaz žádného svisného napnutí, poněvadž v tomto místě vodorovně běží; odtud k oběma stranám ho teprv přibývá. Jelikož napnutí svisné toliko účinek na provaze zavěšeného závaží jest, nemůže to zde nic jiného býti, než váha řetězu aneb samého provazu. Z toho následuje, že napnutí svisné v každém místě provazu jen z té části

Obraz 58.

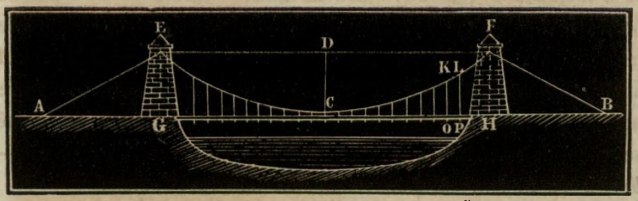


váhy jeho se skládá, která až pod to místo nad nejnižším bodem jeho *D*, kde žádného není, povýšena jest. Tak jest na př. svisné napnutí provazu v *L* váha části provazu *LD*, v *N* váha provazu *ND*, následovně napnutí jeho v *A* jest váha provazu *AD*, a je-li *A* a *B* ve vodorovné čáře, obnáší polovinu váhy jeho. Chceme-li si na př. velikost napnutí v bodu *A* a *B* znázorniti, třeba jen sestrojiti tečné v těchto bodech, směrem *AE* a *BE*, poněvadž směr napínacích sil představují. Sestrojí-li se ve zmíněných směrech rovnoběžník sil, tak aby délka *ED* váhu provazu vyznačovala, objeví se *EG* pro poměrnou velikost napnutí provazu v bodu *B*, taktéž *EF* pro napnutí v bodu *A*, a bod *D* co působiště výslednice. Kdyby se napnutí provazu i v jiných místech jako v *L*, *N* a t. d. pozorovati mělo, třeba si jen mysliti, že provaz v těchto bodech upevněn jest, tedy tak jakoby tu hořejší části jeho *NA*, *LA* a t. d. nebylo. Kdybychom si na př. představili, že řetěz v bodu *D* upevněn jest a vedli tečnou *DR* k řetěznici tímto bodem, měla by směr vodorovný, což ukazuje, že řetěz v tomto místě žádného svisného napnutí míti nemůže. Napnutí vodorovné by tu však dle hořejšího právě tak velké býti musilo, jako v *B* aneb v *A*. Veškeré napnutí svisné, které ve směru x působí a zde váhu poloviny řetězu od *D* až do *B* obnáší, připadá tedy jen na provaz v bodu *B*. Jelikož každý provaz těžký jest, má také každý nějaké napnutí svisné, tak že se tedy

žádný do čáry přímé vytáhnouti nedá, lečby buď bez váhy aneb ve směru svisném tažen byl.

43. Upotřebení zákonů těchto ve velkém viděti jest na řetězových mostech, kde mostní podlaha *GH* (obr. 59.) i s nákladem na řetězích aneb na provazech *ECKF* zavěšena jest, tak že

Obraz 59.

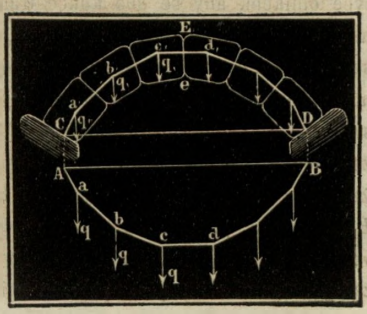


se za touto příčinou i *visací mosty* nazývají. Řetěz aneb provaz z drátu upevní se jedním koncem *A* dosti hluboko v zemi, vede se přes silný kamený pilíř *EG* k druhému *FH*, přes tento dále, aby se zas druhým koncem *B* v dostatečné hloubi v zemi dosti silně zachytiti mohl. Jelikož řetěz aneb provaz značnou váhu má, vysvítá, že se ve vodorovné *EDF* udržeti nemůže, a že se tak řetěznice *ECF* sama objevuje. Provazy tyto se hotoví z drátů 1—1/4‴ tlustých a mívají 1—2½″ v průměru. Na řetěz se zavěsí ve stejných vzdálenostech *OP* kované železné tyče *KO*, *LP* a t. d. asi 1□″ v průřezu; na provazy se zavěšují místo tyčí zase provazy asi téhož průměru. Délka visacích tyčí *LP*, *KO* a t. d. musí se tak zařídíti, aby dolejší konce jejich *P*, *O* a t. d. do vodorovné čáry padly. Visí-li v jisté vzdálenosti dva takové řetězy vedle sebe a opatří-li se visací provazy okem aneb tyče oblíkem, aby se oba konce trámů do nich navlíknouti daly, možno tolik trámů na řetěz pověsiti, co visacích tyčí má, tak že se pak na ně podél mostu prahy kladou, aby se na tyto podlaha mostní na příč položiti mohla. Pro jistotu se zavěšují na každou stranu dva i více řetězů vedle sebe aneb nad sebe. Dílem proto, že řetěz sám s podlahou velkou váhu má, dílem i z té příčiny, že výška oblouku *CD* sedmý ano i také jen 25tý díl délky mostu *EF* obnášívá, jest, jak z hořejšího (40.) vysvítá, napnutí řetězu veliké, tak že bytelného upevnění v zemi a silných pilířů vyžaduje. Jmenovitě jest pevnost pilířů tenkráte důležitá, když

most na jedné straně silně obtěžkán jest, poněvadž se v ta místa řetěz a s ním i pilíř táhne. Mají-li pilíře stejnou výšku, musí každý polovinu váhy mostu i s břemenem nésti. Jinak mohou pilíře nestejné výšky býti, jen že pak řetěz v nejvyšším místě i nejvíce napnut jest. Aby se pilířům poněkud hovělo, kladou se v nich řetězy na válce aneb na kladky. Proto se také k tomu přihlížívá, aby co možná směr řetězu na obou stranách pilíře jako *FL* a *FB* stejně nakloněn byl, aby výslednice směrem *FH* aneb alespoň pilířem procházela. Právě proto se také pilíře nerády od sebe do příliš velkých vzdáleností kladou. Obyčejně se volí jen asi 350′, ačkoli mnohé výminky jsou, jako ve *Freiburku* ve *Švýcařích*, kde vzdálenost tato 834′ obnáší.

44. Jelikož se na provaze aneb na řetěze zavěšené hmoty ano i řetěz sám se svými články vždy v nějaké křivé čáře do rovnováhy staví, vysvítá, že právě tato křivá čára i polohu vyznačuje, ve které by se rozličná tělesa souhlasné váhy sama v oblouku udržovala, jen že ve směru protivném ano i co klenba, která se také ještě otěžkati dá. Ovšem žeby se působnost sil, která se zde tahem jeví, v tlak pospolný všech částí klenby proměnila. Převrátí-li se na př. provaz *ADB* (obr. 58.), objeví se křivá čára *AC′B*, ve které by se tělesa stejné váhy, na př. stejné koule, samy v rovnováze udržovaly. Zvedne-li se závažím *q* obtěžkaný provaz *AcdB* (obr. 60.) do výšky, znázorní nám klenutí, v němž každé závaží *q* váhou kamene *q′* se nahražuje, takže vždy uzel provazu *a*, *b*, *c*, *d* těžištěm *klenáku* (Gewölbstein) *a′*, *b′*, *c′*, *d′* se stává. Jelikož velkým počtem menších závaží napnutý provaz řetěznici tvoří, vysvítá, že klenáky, když jich velký počet jest a naskrze stejnou váhu mají, *v řetěznici do klenby spojeny býti musí*, aby klenutí, jak se to od něho právem žádá, bez pomoci přilnavosti samo o sobě

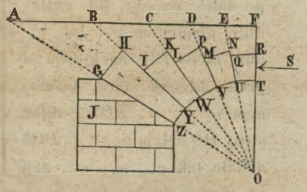
Obraz 60.



pevně stálo. Přivěšením provazu k dvěma bodům na kolmé stěně dá se řetěznice vždy snadno sestrojiti, z čehož již vysvítá, že dle délky provazu a vzdálenosti bodů těchto podoby velmi rozmanité býti může.

Přirozeně následuje z předešlého, že by se klenáky v podobě a velikosti změniti musily, kdyby se oblouk v jiné čáře než v řetěznici, na př. *v kruhu TVWZ* (obr. 61.) vyklenouti měl. Ze zákonů statických ustanovuje se počtem následující zařízení pro tento případ: Oblouk *TZ*, ve kterém se klenouti má, třeba na tolik dílů rozděliti, kolik kamenů se k tomu zhotoviti má, a táhnouti ze středu jeho *O* poloměry těmito body *OT, OU, OV* a t. d. V prodlouženém poloměru *OT* vyvolí se bod *F* tak, aby kolmá *FA*, která se v něm sestrojí, s prodlouženým poloměrem *OU* tak velkou úseč *FE* dala, jako jest výška závěrečného kamene *Q*, kterou pevnost klenby žádá. Prodlouží-li se pak i ostatní poloměry *OV*, *OW*... až se s kolmou *FA* setkají, objeví se druhými úsečmi *ED*, *DC*, *CB* a *BA* výška kamenů, jak po sobě v klenbě následují, tak že $FE = TR$, $ED = UN$, $DC = VP$, $CB = WK$ a $BA = YH$ jest. Klenba takto povstalá znázorňuje potřebné v tomto případu posloupné zvětšování klenáků. Že výška závěrečného kamene $TR = UQ$ od břemena závisí, které klenba nésti má, rozumí se samo sebou. Ustanovila-li se potřebná výška závěrečného kamene, dá se zmíněným návodem na přiměřené ploše podoba ostatních klenáků snadno vyrejsovati. Jako na provaze, na kterém mnoho závaží zavěšeno, napnutí vodorovné ve všech místech stejné, napnutí provazu svisné ale vždy tak velké jest, jako velikost závaží na něm až k nejnižšímu bodu zavěšených, tak to platí i o klenbě. Napnutí vodorovné jest u všech kamenů stejné, napnutí svisné, které zde v kolmý tlak přechází, jest však tak velké, jako váha všech vyšších o něj se opírajících kamenů i s břemenem, které na nich

Obraz 61.

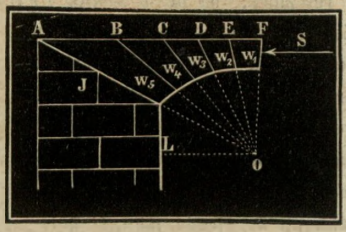


na této straně až k místu nejvyššímu spočívá *). Stálost klenby žádá, aby stěny aneb pilíře, o které se opírá, tak pevné byly, aby kolmému a možná-li i vodorovnému tlaku vzdorovaly. V případech, když by pro vodorovný tlak nepostačovaly, vážou se stěny a pilíře železnými tyčemi, aby se nerozstupovaly.

---

*) Počtem se dá i příčlna návodu tohoto objasniti. Vyznačíme-li váhu klenáků, jak po sobě na obr. 62. následují, písmenem w_1, w_2, w_3, úhel stěny EO, na kterou se první klenák opírá, písmenem $\alpha_1 = \sphericalangle EOL$, sklon stěny DO úhlem $\alpha_2 = \sphericalangle DOL$ a dále tak α_3, α_4, α_5, dají

Obraz 62.



se snadno podmínky ustanoviti, jakých třeba, aby síla S klenáky v rovnováze pohromadě udržovala. — Na každý klenák působí zde dvě síly: tíže jeho, která jej svisno dolů táhne, a síla S, která jej vodorovně na dolejší stěnu tlačí. Aby u w_1 rovnováha byla, t. j. aby se klenák tento na ploše EO udržoval, musí míti výslednice obou sil kolmý směr na stěnu EO, tedy $S = w_1 \operatorname{tg} \alpha_1$ býti. Má-li se ale kámen w_1 a w_2 zároveň na ploše DO udržovati, musí $S = (w_1 + w_2) \operatorname{tg} \alpha_2$; taktéž potřebí, aby $S = (w_1 + w_2 + w_3) \operatorname{tg} \alpha_3$, $S = (w_1 + w_2 + w_3 + w_4) \operatorname{tg} \alpha_4$ a t. d. bylo, jestli se tři kameny co celek na ploše CO, čtyři co celek na ploše BO a t. d. v rovnováze držeti mají. Poněvadž se tu jen o zařízení klenáků jedná, aby těmto požadavkům zadost učinily, jelikož taláž síla S pro všecky nezměnlivá ostává, třeba velikost jejich ze svrchu uvedených výrazů ustanoviti, a tu obdržíme

$w_1 = S : \operatorname{tg} \alpha_1 = S \operatorname{cotg} \alpha_1$, taktéž

$w_2 = S \operatorname{cotg} \alpha_2 - w_1 = S (\operatorname{cotg} \alpha_2 - \operatorname{cotg} \alpha_1)$

$w_3 = S \operatorname{cotg} \alpha_3 - (w_1 + w_2) = S (\operatorname{cotg} \alpha_3 - \operatorname{cotg} \alpha_3)$

$w_4 = S \operatorname{cotg} \alpha_4 - (w_1 + w_2 + w_3) = S (\operatorname{cotg} \alpha_4 - \operatorname{cotg} \alpha_4)$ a t. d.

Jelikož $\operatorname{cotg} 90^\circ = 0$, můžeme k vůli souměrnosti také psáti

$w_1 = S (\operatorname{cotg} \alpha_1 - \operatorname{cotg} 90^\circ)$

tak že porovnáním následující srovnalost z toho obdržíme:

$w_1 : w_2 : w_3 : w_4 \ldots = (\operatorname{cotg} \alpha_1 - \operatorname{cotg} 90^\circ) : (\operatorname{cotg} \alpha_2 - \operatorname{cotg} \alpha_1) : (\operatorname{cotg} \alpha_3 - \operatorname{cotg} \alpha_2) : (\operatorname{cotg} \alpha_4 - \operatorname{cotg} \alpha_3) :$,

která nám ukazuje, že váha klenáků v takovém poměru býti musí, jako rozdíly *cotangent* sklonů, které obě spáry jejich tvoří. Tím by se ovšem dala váha každého klenáka ustanoviti; v životě skutečném

jest ale sestrojování klenáků mnohem důležitější než váha jejich, a proto jest zapotřebí, aby se obé spojilo. Vedeme-li na svisnou OF kolmou AF, setkají se s ní prodloužené stěny čili spáry klenáků v B, C, D a E, čímž příhodné trojúhelníky povstanou, ze kterých

$EF = OF\,\mathrm{cotg}\,\alpha_1$, $DF = OF\,\mathrm{cotg}\,\alpha_2$, $CF = OF\,\mathrm{cotg}\,\alpha_3$, $BF = OF\,\mathrm{cotg}\,\alpha_4$ a t. d. následuje. Z toho se dají svrchu zmíněné rozdíly *cotangent* ustanoviti, nebo

$EF = OF\,\mathrm{cotg}\,\alpha_1 = OF(\mathrm{cotg}\,\alpha_1 - \mathrm{cotg}\,90^\circ)$ a odtud $\frac{EF}{OF} = \mathrm{cotg}\,\alpha_1 - \mathrm{cotg}\,90^\circ$

$DF - EF = DE = OF(\mathrm{cotg}\,\alpha_2 - \mathrm{cotg}\,\alpha_1)$ „ „ $\frac{DE}{OF} = \mathrm{cotg}\,\alpha_2 - \mathrm{cotg}\,\alpha_1$

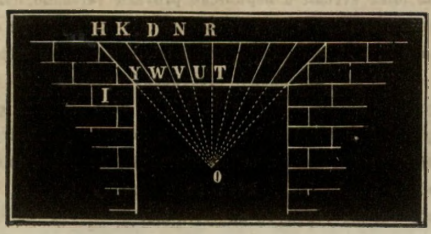
$CF - DF = CD = OF(\mathrm{cotg}\,\alpha_3 - \mathrm{cotg}\,\alpha_2)$ „ „ $\frac{CD}{OF} = \mathrm{cotg}\,\alpha_3 - \mathrm{cotg}\,\alpha_2$

$BF - CF = BC = OF(\mathrm{cotg}\,\alpha_4 - \mathrm{cotg}\,\alpha_3)$ „ „ $\frac{BC}{OF} = \mathrm{cotg}\,\alpha_4 - \mathrm{cotg}\,\alpha_3$

a t. d. Dle toho jest $\frac{w_1}{S} = \frac{EF}{OF}$, $\frac{w_2}{S} = \frac{DE}{OF}$, $\frac{w_3}{S} = \frac{CD}{OF}$.... a porovnáním $w_1 : w_2 : w_3 : w_4 : w_5 : .. = EF : DE : CD : BC : AB : ..$ Udělá-li se OF tak velké, aby dle měřítka nějakého sílu S vyznačovalo, tedy aby $OF = S$ bylo, jest stranicí EF vyznačena váha prvního klenáku, tedy $EF = w_1$, taktéž $DE = w_2$, $CD = w_3$ a t. d. Udělají-li se klenáky, které stejnou délku míti musí, i stejně široké, tak sice, aby jak nahoře řečeno (obr. 61.) $ZY = YW = WV = VU = UT$ bylo, liší se pak od sebe jen výškou, z čehož následuje, že sblížené váha klenáků v takovém poměru stojí, jako výška jejich. Odtud hořejší návod, že úsečmi EF, DE, CD a t. d. výška přináležejících klenáků vyznačena jest, když klenba v kruhovém oblouku sama o sobě státi má. Tím se také vysvětluje, proč spáry při ploském klenutí (obr. 63.) k témuž středu O směřovati musí, tak že TR, UN a t. d. v prodlouženém poloměru jsou. Má-li se ale klenba také obtěžkati, musí se vyrozumívati pod váhou klenáku zároveň i břemeno, které nésti má.

Aby se držebnost klenby uskutečnila, musí dle hořejšího výslednice ze síly S a váhy klenáku w kolmý směr na stěny čili spáry klenutí

Obraz 63.



45. Kdyby více než tři na tentýž bod působící síly vespolek v rovnováze býti měly, musilo by o nich totéž platiti. Vždy se musí v tomto případu každá síla vyrovnávati ve své velikosti výslednici všech ostatních sil a působiti ve směru pro-

---

míti. Takový kolmý tlak jest dle sklonu stěn a počtu na nich spočívajících klenáků

$t_1 = \frac{w_1}{\cos\alpha_1}$, $t_2 = \frac{w_1+w_2}{\cos\alpha_2}$, $t_3 = \frac{w_1+w_2+w_3}{\cos\alpha_3}$, $t_4 = \frac{w_1+w_2+w_3+w_4}{\cos\alpha_4}$

a t. d. Z obrazu 62. však také následuje

$OE = \frac{EF}{\cos\alpha_1}$, $OD = \frac{DF}{\cos\alpha_2}$, $OC = \frac{CF}{\cos\alpha_3}$ . . . a přijme-li se dle hořejšího $EF = w_1$, $DF = w_1+w_2$, $CF = w_1+w_2+w_3$ a t. d., jest pak $t_1 = OE$, $t_2 = OD$, $t_3 = OC$ a t. d. Z toho vysvítá, že kolmý tlak, kterým klenáky vespolek na sebe působí, přeponami poměrně vyznačen jest.

Co zde o jedné polovině klenby řečeno bylo, platí i o druhé, tedy i o celém klenutí, s tím toliko rozdílem, že přijatá síla S vodorovný tlak ve vrcholi jeho Ee (obr. 60.) vyznačuje. Je-li V váha poloviny klenby a α sklon pilíře AO (obr. 62.), ustanoví se tento vodorovný tlak čili síla S z $S = V\operatorname{tg}\alpha$ a tlak kolmý na AO bude $T = \frac{V}{\cos\alpha} = \frac{S}{\sin\alpha}$. Z toho vysvítá, že tlak kolmý ve vrcholi nejmenší jest, dolů ale že ho stále přibývá, čili vůbec že $T = f(\alpha)$ jest. — Abychom vodorovný a kolmý tlak každého místa seznali, třeba jen účinek přináležejícího t v těchto dvou směrech rozložili. Tak jest vodorovný tlak T_1 na AO z $T_1 = T\sin\alpha = S$ a svislý $T_2 = T\cos\alpha = \frac{S}{\sin\alpha}\cos\alpha = S\operatorname{cotg}\alpha = V$ ustanoven. Výrazy tyto ukazují, že tlak vodorovný T_1 od úhlu nezávislý jest, tedy ve všech místech S t. j. tak velký jako ve vrcholi, tlak svislý T_2 že však váhou klenáků čili oné části klenby ustanoven jest, která se až k vrcholi nad ním nalezá.

Ponévadž totéž svrchu u napnutého provazu shledáno bylo, možno tvrditi, že klenutí (obr. 60.) v rovnováze býti musí, když směry kolmých tlaků $a'b'$, $b'c'$, $c'd'$ mezi spárami takovou podobu mají, jakou by v uzlech souhlasně obtěžkaný převrácený provaz AB měl, když by se tedy upotřebené síly q vyrovnávaly váze klenáků q'. Jsou-li tyto síly q stejné a husté vedle sebe, jako váha jednotlivých článků řetězu, objeví se *řetěznice*, z čehož následuje, že právě tato čára přirozená podoba klenby jest, když se z klenáků *stejných*, t. j. stejně těžkých, tedy i stejně vysokých zhotoviti má.

tivném, čili výslednice všech takto působících sil musí se vyrovnávati nule *).

Z toho ze všeho vysvítá, že se vždycky dříve výslednice ustanoviti musí, když se rovnováha uskutečniti má, tak že téměř obě tyto úlohy v jednu splývají. Tím jest dán prostředek, aby se veškeré pohybování, kterým se pravidelně účinek každé upotřebené síly jeví, dle potřeby rušiti mohlo. Používáť se k tomu síly, která působící sílu překonává, tedy i snahu k pohybování v jednom směru snahou k pohybování v protivném směru ruší, uskutečněním rovnováhy mezi oběma. —

Mnohem častěji se však v skutečnosti rovnováha za tou příčinou naskytuje, že ve směru, ve kterém se účinek síly jeviti má, rozličné hmoty se nacházejí a svou spojitostí všecken účinek působících sil ruší.

Působí-li více sil na hmotu, která se o nějaký pevný bod opírá aneb která se kolem nějaké osy otáčeti může, potřebí, aby buď výslednice nulou byla, buď tímto bodem aneb osou hmoty procházela, když rovnováha býti má. Tak víme na př., že kámen, když jsme jej na dosti pevnou nit byli zavěsili, dolů nepadá, ačkoli síla tíže na něj stále působí, ano že se ani nehýbá, když v těžišti zavěšen aneb podepřen byl. Nemůže-li se hmota po ose pohybovati, postačuje také pro rovnováhu, aby směr výslednice s osou v téže ploše byl. Ve všech ostatních případech objeví se upotřebením sil nějaká točnost, která se právě tak velkou točností ve směru protivném zrušiti musí, aby se rovnováha uskutečnila.

*) Rozkládají-li se síly působící v též ploše na složky své dle dvou kolmých os, musí jako vůbec i zde $V=0$ býti, tedy $V=\sqrt{X^2+Y^2}=0$, což se jinak myšliti nedá, leč aby $X=\mathbf{S}.P\cos\alpha=0$ a také zároveň $Y=\mathbf{S}.P\sin\alpha=0$ bylo. Jsou-li to síly působící v prostoru na tentýž bod, musí $V=\sqrt{X^2+Y^2+Z^2}=0$ býti, což jen tehdáž možno jest, když $X=\mathbf{S}.P\cos\alpha=0$, $Y=\mathbf{S}.P\cos\beta=0$ a $Z=\mathbf{S}.P\cos\gamma=0$ jest. Kdyby na př. jen $Z=0$ bylo, vysvítalo by, žeby výslednice do plochy ostatních dvou os $(x\,y)$ padala atd. Značí-li $V.v$ statický moment výslednice a $\mathbf{S}.Pp$ algebraický součet momentů postranných sil, jest jen tenkráte rovnováha, když $\mathbf{S}.Pp=0$; nebo $Vv=0$ může i tenkráte býti, když by směr výslednice bodem šel, na který se momenty vztahují

Druhý případ, jímž se rovnováha uskutečňuje, záleží v tom, že upotřebená síla ve směru kolmém na plochu působí, na které by se účinek na př. pohybováním po ní jeviti musil. Je-li hmota podepřena dvěma body, potřebí, aby směr výslednice přímkou procházel, která oba body spojuje. Opírá-li se však hmota o více bodů, postačuje pro rovnováhu, když výslednice plochou prochází, která mezi těmito body leží, jak to pozorovati možno, kámen-li na pevnou podlohu vložen byl.

Jelikož stroj také pevná hmota jest, vysvítá, že všecko, co právě o pevných hmotách řečeno bylo, i o strojích platiti musí. Z toho následuje, že se stroje *jen dvojího druhu* rozeznávati dají, když se rovnováha za základ vzíti má, a sice:

a) stroje takové, při kterých se výslednice z dvou aneb více na rozličné body působících sil *pevnou osou ruší*, okolo které se pevný celek tento pohybovati může, zahrnutá všeobecným jmenem **páky**, a

b) stroje, při kterých se výslednice *pevnou plochou ruší*, na které břemeno spočívá, zahrnuté vůbec všeobecným jménem **nakloněné plochy**.

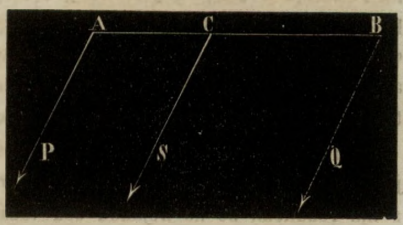
B. Rovnováha na strojich.

A. Stroje páky.

1. PÁKA.

46. *Význam* stroje tohoto již vysvětluje i *podstatu* jeho; ukazuje, že to každý pevný celek býti může, kterým se hmoty *páčiti* dají, jmenovitě tedy každá tyč, lať, bydlo, sochor a podobné náčiní, když o nějaký pevný bod aneb čáru tak opřeny jsou, aby se kolem jich otáčeti mohly. Představíme-li si, žeby *AB* (obr. 64.) nějaká tyč a *C* její pevná podpora čili tak pevná osa byla, aby výslednici upotřebených sil *S* rušiti mohla, máme páku před sebou. Působí-li v bodu *A* jedna síla *P*, v bodu *B* druhá síla *Q*, která jak přirozeno pro sílu *P* břemenem jest, máme tu případ již známý, že totiž dvě síly na dva rozličné body pevného celku působí. Rozdíl záleží jedině v tom, že tam hlavně na stanovení výslednice zřetel brán byl, kdežto nyní *rovnováha* a *pevný celek sám* čili *přístroj* vůbec, na který síly působí, hlavní věcí jest. Dána-li síla, kterou se nějaké břemeno překonati má, bude úloha naše záležeti v tom, aby se jednak závislost působnosti a velikosti síly a břemena od velikosti a podoby páky ustanovila, jednak aby se opáčně na takové zařízení stroje

Obraz 64.



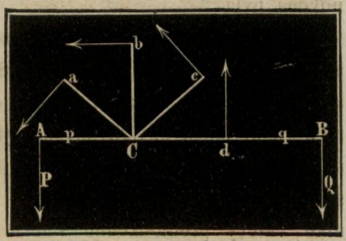
souditi mohlo, které by našim potřebám, pohodlí a výsledku nejvýhodnější bylo, a vůbec aby se objasnila přírodní zákonitost, která výjevy tyto v skutečnosti ovládá. Že se konečně z toho i spůsob objeví, jakým se strojů takových výhodně upotřebiti dá, rozumí se samo sebou.

Jelikož páka toliko pevný celek jest, na kterém síly působí, tedy jen jakási pomůcka, aby síly dle vůle naší působiti mohly, vysvítá, *že páka nikoli podstatou, než že jen mimotní nahodilou věcí jest*, která zákony již dříve vyvinuté měniti nemůže, buď si podoba její jakákoli, a která jen *pomáhá*, aby uskutečněny býti mohly. Z toho vysvítá, že vždy *jen zákon* před očima míti slušÍ, aniž bychom se při tom nějak podobou páky stanoviti aneb říditi dali. Páka znázorňuje jen známé již zákony o působnosti sil na více bodů nějakého pevného celku, a uvádí nám před oči *v pravé skutečnosti*, co dříve jen jako předmět našeho rozumování pozorováno a ustanoveno bylo. Zde se tedy všecko opakuje *v skutečnosti*, co nahoře na předmětech toliko *vymyšlených* proskoumáno bylo. Jelikož se zákon upotřebení páky nejlépe objeví, když se napřed rovnováha působících sil pozoruje, beře se tato vždy za základ, od níž se pak snadno dále vychází, aby se účinek aneb vykonaná práce pozorovala a posuzovala, s ohledem na všecky případy a překážky, které se teprv při skutečné práci t. j. při pohybování naskytují.

47. *Páka v své podstatě*, jak nahoře zmíněno, není nic jiného, než nějaký pevný celek, na který více sil působí, jedině s tím rozdílem, že na nějakou osu vázán aneb o nějaké pevné tělesо opřen jest. *Pevná podpora* jest tedy *znakem* páky, jelikož *každý pevný celek* pákou býti může, jen když se o nějaký pevný bod opírá, jako nahoře o *C*. Pomocí takové pevné podpory dají se podmínky rovnováhy snadno ustanoviti; nebo má-li se, jak třeba v tomto případu, výslednice zcela zrušiti, dá se to při silách, které v rozličném směru působí, vždy uskutečniti, když směr výslednice jejich podporou páky prochází, která ji svou pevností zrušiti může. Aby rovnováha byla, musí tedy výslednice jíti podporou páky aneb podpora čili osa její ležeti ve směru výslednice; a naopak, jde-li směr výslednice podporou

páky, na kterou síly působí, musí se objeviti rovnováha. Osa páky musí tedy v případu tomto býti bodem výslednice sil, které na ni působí, z čehož vysvítá, že co nahoře (24.) o libovolném bodu výslednice řečeno bylo, i o podpoře č. ose páky platiti musí. Podmínky rovnováhy na páce záležejí následovně v tom, *že upotřebené síly v takovém poměru státi musí, jako převráceně kolmé, které se z podpory páky na směry jejich vésti dají*, totiž $P : Q = q : p$, čili $P.p = Q.q$, t. j. *v rovnováze musí býti statický moment síly právě tak velký jako moment břemena s ohledem na osu páky.* Z toho vysvítá, *že tu jen velikost sil a poměrná velikost kolmých rozhoduje, že tedy podoba a délka páky na podmínky rovnováhy žádného vlivu nemá.* Také se rozumí samo sebou, že jen tenkráte velikost ramena na účinek nějakého vlivu má, když na směr upotřebené síly kolmo stojí, jako na obr. 65. viděti jest, aneb když směry sil rovnoběžné jsou (28).

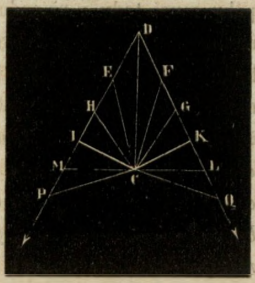
Obraz 65.



Představíme-li si rameno páky $p = CA$ i v jiných polohách jako Ca, Cb, Cc, až by konečně co Cd vedle ramena CB leželo aneb i dokonce s ramenem $q = CB$ v jedno se spojilo, obdržíme velmi rozmanité páky, jako aCB, bCB, CdB a t. d., ačkoli se u všech tyže již s vrchu zmíněné podmínky rovnováhy opakují, tedy v podstatě sobě všecky tyto páky rovny jsou, poněvadž se kolmé vzdálenosti směrů jejich od podpory nemění. Změnami těmito nevyskytuje se tedy nic nového, leč jen co již svrchu (27.) při obrazu 32. a (30.) při obrazu 40. řečeno bylo. V podobě jestiť tu ovšem značný rozdíl; nebo ACB jest na př. páka *přímá*, bCB však páka *lomená; CdB* jest páka jen *jednoramená*, jelikož síla i břemeno na tomž rameně působí, kdežto ve všech ostatních případech síla i břemeno své zvláštní rameno má, tedy to páka *dvouramená* jest. Taktéž by se nesčíslné množství jiných podob páky myslili dalo se stejným účin-

kem, jako již na obraze 66. viděti jest, kdyby síly v jedné přímce nepůsobily. Každé pevné spojení podpory *C* se směrem síly *P* jako *CM*, *CI*, *CE* a t. d. může býti ramenem páky její; totéž platí o síle *Q*, tak že konečně i společné rameno *CD* jakoukoli dvouramenou páku se stejným účinkem nahražovati může. Příčinu hledati třeba v tom, že se vzdálenost směrů sil od podpory *CI* a *CK* nemění, ať pak již *M*, *H*, *E*, *D* aneb kterýkoli jiný ve směru síly ležící bod působištěm jejím jest. *Jelikož tu v podstatě žádného rozdílu není, netřeba ho ani ve formě páky dělati, poněvadž se k tomu samému účelu nesčíslné množství rozličně zhotovených pák mysliti dá, jak je vůbec jen náhoda naskytuje a potřeba přikazuje.* Z toho ze všeho vysvítá, že *jen účel* páce rozličnou podobu dává, když velikost statických momentů již dříve ustanovena byla.

Obraz 66.

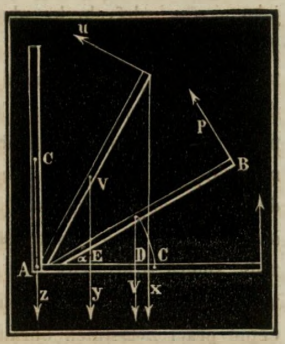


Stanovení výslednice jest ovšem ve všech případech stejné, ale velikost její se dle směru sil mění. Rozdíl tento má tenkráte důležitosti, když se na osu ohled béře, kterou se výslednice rušiti musí, aby rovnováha byla. Působí-li síly na páce *CA* a *CB* (obr. 65.), jest výslednice jejich rovna součtu obou. Působí-li síla *P* na rameně *Ca*, *Cb* aneb *Cc*, možno z rovnoběžníku, který prodloužením směrů obou sil povstane, ustanoviti velikost výslednice, která však stále menší jest než součet složek jejích. Působí-li konečně síla *P* na rameně *Cd* ve směru protivném, vyrovnává se výslednice rozdílu obou sil. Z toho vysvítá, že na osu největší tlak působí, když síly rovnoběžné jsou; nejmenší však, když v protivném směru působí.

48. Považíme-li, že *každá hmota těžká* jest, vysvítá, že se vždycky již sama sebou jednoramenou pákou stává, když ji v jednom konci držíme a druhý o pevnou základnu opřen jest. Za příklad může sloužiti kláda, prkno, žebřík a p., když se jen na jednom konci *B* zvedá (obr. 67.). Působí-li síla *P* kolmo na tento předmět v bodu *B*, a vyznačí-li se váha jeho, která v bodu *C* své

působiště má, písmenem V, jest $P : V = AD : AB$, t. j. síla P tolikráte menší než váha V, kolikráte vzdálenost směru této síly t. AB od podpory A větší jest než vzdálenost směru, kterým váha hmoty V působí, t. AD. Jelikož AD menší jest než AC, tedy menší než polovice délky zdvihnutého předmětu, jest patrno, že v této poloze velikost upotřebené síly menší jest než polovina váhy jeho. Považíme-li, že vzdálenosti směru tíže od podpory tím více ubývá, čím výše předmět již zvednut byl, jelikož jak viděti tato vzdálenost z C do D, do E a konečně až do A přechází, vysvítá, že právě v tom poměru upotřebená síla P, která je v rovnováze udržeti má, menší býti může, poněvadž působíc stále v kolmém směru, svou vzdálenost do podpory A nemění. Postaví-li se konečně předmět tento kolmo, jde směr tíže z podporou A a vzdálenost zmizela, následovně i síla, která předmět v rovnováze udržovati má, poněvadž nyní na podpoře sám o sobě v rovnováze stojí aneb alespoň by státi mohl. Z toho jest viděti, že hmota, když se z polohy vodorovné zvedati má, zprvu sílu požaduje, která se polovině váhy její vyrovnává; že však posloupně k tomu tím méně síly potřebí jest, čím výše předmět již zdvižen byl, až konečně směr tíže z podporou A prochází a pevností její se ruší čili hmota sama o sobě státi počíná *). Váha hmoty nezmizela ani se nezměnila, ale vzdálenost směru jejího od podpory a tím i moment čili točnost její.

Obraz 67.



*) Počtář brává raději ku pomoci úhel α, jejž zvednutý předmět s vodorovnou tvoří, z čehož $P : V = AC \cos\alpha : AB = AC \cos\alpha : 2AC = \cos\alpha : 2$ a následovně $P = \frac{1}{2} V \cos\alpha$ jest. Jelikož $\cos\alpha = 1 \ldots 0$ jest, vysvítá, že upotřebené síly posloupně ubývá od $\frac{1}{2}V$ až na 0, t. j. $P = \frac{1}{2}V \ldots 0$.

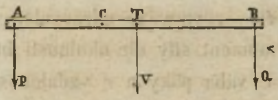
Kdyby směr upotřebené síly rovnoběžný byl se směrem tíže jako x a y, ubývalo by obou vzdáleností v rovném poměru, tak že by x od A dvakráte tak vzdáleno bylo jako y od A. Z toho vysvítá, že by i upotřebená síla svou původní velikost stále podržovala, t. j. vyrovnávala by se v rovnováze ve všech polohách polovině váhy zdviženého předmětu samého. Z toho se také vysvětluje, jakým směrem se jedním koncem zvednuté a někde u druhého podepřené krokve, jako mejtní klády, nejpohodlněji dolů stahovati dají. Nebyl by to směr x, nýbrž směr na krokev kolmý, tedy směru u protivný. — Ačkoli věc tato zcela jednoduchá jest, vysvítá nicméně již z uvedeného příkladu tohoto, že i při obyčejné práci zvláštních obratů stává, kterých povážlivý pracovník k ulehčení práce a vůbec k svému prospěchu upotřebiti může.

Tím byl jedině ohled brán na směr upotřebené síly; namítá se otázka, jakých rozdílů v tom stává, když se při zvedání takovém působiště upotřebené síly mění, když se na př. působiště síly k těžišti blíží aneb od něho vzdaluje. Má-li rovnováha býti, rozumí se samo sebou, že síle v každém bodu tolik překonati, tedy takovou velikostí působiti jest, jakou právě v tomto bodu tíže působí. Zvíme-li, jakou silou tíže v každém bodu hmoty působí, zvíme i velikost síly, jaké potřebí jest, aby se v protivném smyslu velikost tíže zrušila, tedy rovnováha uskutečnila. Jak svrchu (29.) zmíněno, potřebí tím menší síly, čím vzdálenost směru jejího od těžiště větší jest, tedy tenkráte nejmenší, když síla na konec páky kolmo působí. Čím blíže k těžišti, potřebí síly tím větší, až konečně v těžišti samém tak velká jest jako váha hmoty.

49. Upotřebí-li se páky skutečné, objeví se tím tedy ta zvláštní okolnost, že dříve než nějaká umělá síla na ni působiti počíná, již tíže na ni působí, že se tedy přirozeně při práci i na *tíži* její ohled bráti musí, jelikož buď upotřebené síle výhodná jest, buď se jí na odpor staví, t. j. břemeno skutečné buď zmenšuje aneb zvětšuje. Je-li na př. (obr. 68.) těžiště tyče AB v bodu T a podpora její v bodu C, potáhne tíže konec její B dolů. Ze zkušenosti víme, že takto podepřenou tyč buď v bodu B držeti aneb v bodu A dolů táhnouti musíme, aby se v ně-

jaké poloze v rovnováze udržela. Velikost k tomuto účelu v bodu *B* aneb v bodu *A* potřebné síly dá se buď zkusmo, buď počtem ustanoviti.

Obraz 68.



Zavěšujeme-li na druhé rameno v bodu *A* závaží, uskuteční se konečně rovnováha, ze které se působení tíže, následovně i váha páky ustanoviti dá, aniž bychom ji odvažovati musili. Nebo známe-li dobře vzdálenosti sil těchto od podpory, musí býti v bodu *A* upotřebená síla *S* tolikráte menší než váha páky *V*, kolikráte *CA* větší jest než *CT*, tedy $V.CT = S.CA$ a $V = \frac{CA}{CT} S$.

Z toho vidíme, že se váha páky i na páce samé ustanoviti dá, když vzdálenosti působiště obou sil od podpory změřiti můžeme. Známe-li naopak váhu páky, dá se právě tímto zákonem závaží ustanoviti, které v nějaké určité vzdálenosti působiti musí, aby se rovnováha uskutečnila. Kdybychom tyč v bodu *B* držeti chtěli, jest ustanovení velikosti potřebné k tomu síly velmi jednoduché, neboť to musí býti síla tolikráte menší než váha páky, kolikráte rameno její *CB* větší jest než vzdálenost působiště váhy *V* čili těžiště od podpory *C*, totiž *CT*. Sbližíme-li se více těžišti, bude vždy větší síly potřebí, tak že by v těžišti tak velká býti musila jako váha páky. Kdybychom páku ještě blíže podpory, tedy mezi *T* a *C* držeti chtěli, bylo by k tomu již síly potřebí, která větší jest než váha její. Ano síla tato rostla by bez konce, poněvadž by vždy tolikráte větší býti musila než váha hmoty *V*, kolikráte by *CT* větší bylo než vzdálenost její od podpory.

Tímto spůsobem dá se snadno ustanoviti, jakým úsilím váha páky účinku upotřebené síly *napomáhá* aneb jej *ruší*. Představíme-li si na př. v bodu *A* sílu *P*, která by břemeno *Q* pákou v rovnováze držeti měla, nestačí k tomu taková velikost síly *P*, jaká by se dle známé věty $P : Q = CB : CA$ objevila, než potřebí ještě nějakého přídavku *S*, který, jak svrchu zmíněno, v bodu *A* účinek tíže rušiti musí. Kdyby však naopak síla *Q* silou a síla *P* břemenem byla, vysvítá samo sebou, že by tu váha páky účinek síly podporovala, poněvadž by se břemeno *P* o *S* zvětšiti musilo, aby se rovnováha udržela. Z toho také následuje, že by se síla

Q zmenšiti mohla, kdyby jen potřebí bylo, aby se s břemenem P v rovnováze udržovala. Odtud patrno, že váha páky statický moment síly dle okolností buď zvětšuje, buď částečně ruší. Je-li V váha páky a v vzdálenost těžiště od podpory její, bude tedy všeobecně $Pp \pm Vv = Qq$.

Jedná-li se nám o páku, na kterou tíže žádného vlivu míti nemá, třeba ji jen tak zařídili, aby působiště tíže do její osy padlo. Přirozená síla tato zruší se pevností osy a páka sama vyjímá se tak jakoby netěžká byla. Za tou příčinou nazývá se páka taková pákou *mathematickou*, kdežto páka, na které těžiště v ose neleží, pákou *fysickou* se jmenuje.

50. Jako tíží páky, dá se účinek síly i každou jinou silou podporovati, aby více sil vykonalo, co jedna uskutečniti nemůže. Přirozený následek toho jest, že se účinek plný vyrovná součtu účinků všech upotřebených sil. Stanovení účinku v takovýchto případech se tím usnadňuje, že se účinek pro každou upotřebenou sílu zvláště ustanoviti může aneb že se ustanoví, jakou velikostí by všecky upotřebené síly působily, kdyby nějaké společné působiště měly, tak že to pak tak vypadá, jakoby jen jedna síla zmíněné velikosti účinkovala. Tento poslednější spůsob se jmenovitě tenkráte potřebným stává, když na každé straně podpory na páku více sil působí. Objevují se pak dvě výslednice, z nichž jedna všecky upotřebené síly jedné strany, druhá všecky síly druhé strany páky zastupuje.

Jelikož však na tak rozmanitě zařízených pákách při větším počtu sil někdy těžko ustanoviti jest, co které straně aneb ramenu přináleží, jest pochod nejjistější, béřeme-li při posuzování páky aneb při stanovení podmínek rovnováhy její ohled na to, kterým směrem každá síla páku otáčeti se snaží. Z toho se objeví nutně dvě strany, tak že pak pro rovnováhu potřebí jest, aby účinek sil, které páku v jednom směru otáčeti se snaží, zcela rušil účinek sil, které ji ve směru protivném točiti mají, t. j. aby točnost obou ramen páky stejná byla. Poněvadž se tato snaha k otáčení páky statickým momentem vyznačuje, můžeme také říci, že pro rovnováhu potřebí jest, aby součet momentů pro jeden směr se vyrovnal součtu momentů pro směr protivný.

Právě za touto příčinou stávají se, jak již nahoře zmíněno, pro skutečné otáčení statické momenty *momenty točnosti*, tak že dle okolnosti prvním aneb druhým výrazem uvedeny býti mohou, jelikož jen v stanovišti rozdíl jest, ze kterého se pozorují.

51. Na základě těchto zákonů dá se každé upotřebení páky a výsledek jeho vysvětliti, jakož i spůsobilost takového stroje k nějaké určité práci náležitě oceniti. Abychom zcela známý příklad měli, mysleme si lopatu, vidle aneb podobné náčiní, kterým se těžké věci zvedají a vůbec z místa na místo překládají (obraz 69.). Představíme-li si k snadnějšímu přehledu, že nástroj tento v rovnováze jest, můžeme považovati levou ruku v bodu C za podporu a tlak pravé ruky v bodu A za sílu, z čehož se snadno ustanoviti dá, mnoho-li při tom pravá a mnoho-li levá ruka nésti musí, aby se rovnováha udržovala. Upotřebená síla pravé ruky S jest tolikráte větší než břemeno Q, kolikráte rameno její CA menší jest než rameno břemena CB, tedy jest z $S : Q = CB : CA$ síla $S = Q.\frac{CB}{CA}$.

Obraz 69.

Levá ruka musí však co podpora udržovati tlak obou těchto sil, tedy $S + Q$; nebo předpokládáme-li, že pravá ruka rovnoběžně s břemenem působí, vyrovnává se výslednice součtu jejich, který se podporou levé ruky rušiti musí, když tu rovnováha býti má. Rovně bychom výsledku toho dosáhli, kdyby podpora v pravé ruce v bodu A byla a břemeno se v bodu C levou rukou zvedalo. Má-li se působnost vidlí náležitě objasniti, třeba jen uvážiti, že člověk břemeno Q držeti a mimo to každou rukou silou S působiti musí. Z toho následuje, že působnost člověka v tomto případu o $2S$ větší jest, než kdyby břemeno Q v holých rukou držel. Z předešlého vysvítá, že délka páky vůbec, tedy i tohoto stroje, ničeho v skutečné práci nemění a že rozdílů nějakých jen v rozličné podpoře hledati jest, poněvadž se tato libovolně voliti může a páku dle rozličných poměrů na dva díly dělí. Kdyby

se tedy upotřebené úsilí zmírniti mělo, musilo by se jen k zmenšení síly S přihlížeti, poněvadž se váha zdviženého předmětu Q nijak měniti nedá. Prospěch pracovníka tedy žádá, aby se působnost složky S tak umenšila, jak to v každém zvláštním případu býti může. To se stane, když se podpora levé ruky co možná bodu B sblíží, až by konečně při podpoře v tomto bodu síla S docela zmizela a člověk následovně jen velikostí síly Q působiti musil*). Podpora v bodu B nebývá ovšem možná, nicméně vyplývá z toho pro skutečnou práci pravidlo, *abychom se mu tak blížili, jak to práce dopouští*, poněvadž se tím úsilí obou rukou zároveň umenšuje. Jako nahoře (48.) dá se i zde snadno objasniti, že k držení břemena tím menšího úsilí potřebí jest, čím kolměji vidlice stojí, tak že se také práce v té míře usnadňuje, jak vidlice s břemenem z polohy vodorovné do kolmé přechází. V poloze kolmé zbývá *jen* váha hmoty, obě síly S pak zmizí. Příčina leží v tom, že se směr břemena v poloze vodorovné od podpory nejvíce vzdaluje, následovně že i točnost jeho tam největší jest. Čím výše se zvedá, tím více se blíží směr, ve kterém břemeno padati se snaží, podpoře páky, čímž se točnost jeho tím menší stává, až konečně v poloze kolmé zcela zmizí a břemeno jen pouhou váhou působí.

Jelikož se s hmotou Q i nástroj sám vždy zvedati, tedy stále v rukou nositi musí, vysvítá samo sebou, že pro práci pohodlnou nástroj tak lehký býti musí, jak to jen práce dopouští, která se jím konati má. Z předešlého vysvítá, že výhoda podávek, vidlí, lopat a p. jen v tom záleží, že se jimi břemena pohodlněji berou, že se člověk tak shýbati nemusí a dále dosáhne než by to možno bylo, kdyby pouhýma rukama pracoval. Výhod

*) Jelikož ani váha břemena, ani délka stroje d se měniti nemůže, vysvítá, že přirostlé strojem úsilí S jen od změnlivé velikosti $AC = x$ záviseti musí. Jestiť tedy $S = f(x)$, což se známým zákonem snadno odvoditi dá; z

$S : Q = (d-x) : x$ jest totiž $S = \left[\frac{d}{x} - 1\right] Q = \frac{d}{x} Q - Q$, z čehož vysvítá, že S tím menší jest, čím se x větší stává, až by pro $x = d$ $S = 0$ bylo.

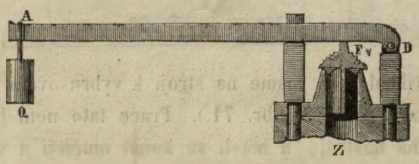
těchto docílí však člověk *jen zvýšením upotřebené síly, která vždy větší býti musí, než kdyby hmotu pouhýma rukama zvedal.*

Tímto způsobem jest také vysvětleno, jak se na rameně něco na tyči aneb na holi výhodně nésti může. Představíme-li si, že člověk k tomu pravého ramena upotřebí, platí o rameně všecko, co v předešlé úloze o levé ruce řečeno bylo, kdežto ruka pravá právě zase tak působí. Rameno co pevná podpora, kterou se výslednice rušiti musí, když tu rovnováha býti má, nese tedy váhu zavěšené hmoty i tlak síly, kterou pravá ruka na holi působí. Z toho následuje, že se břemeno pro pohodlnější práci co možná ramenu sblížiti, pravá ruka však co možná na tyči od ramena vzdáliti má, jak to také ze zkušenosti dobře známe. Čím dále ruka od ramena, tím menší i síla, kterou ruka působí, tedy i tlak na rameno, které účinek obou sil zrušiti musí. Z toho následuje, že se tyč, laf a podobné břemeno tenkráte na rameně nejpohodlněji nese, když těžiště jeho ramenem podepřeno jest, poněvadž při tom ruka nijak účinkovati nemusí, zmíněné *S* tedy zmizí.

52. *Velká výhoda, kterou nám upotřebení páky poskytuje, záleží v tom, že se ji v práci značného stupně dokonalosti a pravidelnosti docíliti dá.*

Proto se užívá často páky v takových případech, kde se nějaký ač libovolný, přec po delší čas stálý tlak uskutečniti má. Příklad toho máme na parních kotlích, kde záklopky na umělých otvorech dle potřeby více méně obtěžkány jsou, aby pára dosáhši většího napnutí než potřebí aneb než pevnost kotle dopouští, je zvednouti a tím si sama volného průchodu zjednati mohla. Takovouto pojišťovací záklopku čili ventil jest viděti na

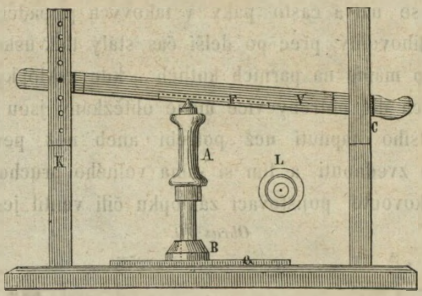
Obraz 70.



obraze 70. Rozumí se samo sebou, že by se téhož účele i bez páky dosáhlo, kdyby se obtěžkávací závaží přímo na záklopku kladla. Jednak že větší napnutí velkého závaží požaduje, které

se na kotli spůsobem tak jednoduchým umístiti nedá, jednak že by vždy jiného závaží potřebí bylo, jak medle bychom páry jiného napnutí užíti chtěli, dává se páce přednost, jelikož tomu dobře vyhovuje, poněvadž se závaží na ní z místa na místo převáděti a tak na záklopku rozličným tlakem působiti dá.) Závaží *Q* se napřed náležitě odváží a vzdálenost jeho od osy *D*, totiž *AD* odměří, aby se působnost závaží v bodu *F*, kde pára otvorem *Z* na ventil působí, ustanovila. Tlak páry na záklopku *F* může býti tolikráte větší než *Q*, kolikráte vzdálenost *Q* od osy *D*, totiž *AD* větší jest než *FD*. Tím jest také ustanoveno, jakého napnutí by pára v *Z* míti musila, aby si zvednutím záklopky sama průchod udělala. Naopak se může pro každé určité napnutí páry i velikost závaží *Q* ustanoviti, což i v skutečnosti obyčejnou úlohou bývá. Aby se to s dosti velkou určitostí stalo, musí se i na váhu železné páky *AD* ohled bráti, která tu spolu na *F* účinkuje. Velikost účinku jejího v *A* ustanovuje se obyčejně závažím na vahách vložením konce *A* v poloze vodorovné na misku jejich, jakož se to jmenovitě při ouředních přehlídkách parních kotlů děje.

Obraz 71.



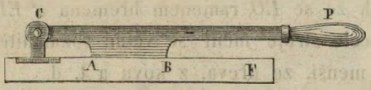
Jiný příklad toho máme na stroji k vybrušování, vyřezávání a vrtání skla a p. věcí (obr. 71.). Práce tato není jinak možná leč tlakem na nástroj, a má-li se konat uměleji a s výsledkem poněkud *jistým*, jest k tomu zapotřebí nezměnlivého tlaku, který se zavěšeným závažím na konci latě *V* u *C* dle potřebné velikosti snadno uskutečniti dá. Lať *V* jest na jedné straně osou

v podstavci *K* upevněna a spočívá ložiskem desky *F* na kuželovitě zašpičatělém hřídelíku *A*. Kolem prohloubléhо válce *A* ovinuje se šňůra, která svými konci k oblouku upevněna jest, aby se jí nástroj pohodlně otáčeti dal. *G* jest deska, která se vrtati má, *B* dutý válec k ní upevněný, aby se vrták *A* z náležitého místa nesmekal. *L* jest vodorovný průmět tohoto dílu stroje *). Z věci vysvítá, že se tak mnohem *stejněji* tedy i *umělejí* pracuje než obyčejným spůsobem, kde prsy svými vrták do otvoru vtlačujeme. Právě takovouto pákou obtěžkávají se válce a lisy, kterými se rozličné látky protahují, aby účinek dle potřeby velký a naskrze pravidelný byl.

53. *Pákou se dá práce upotřebené síle, tedy i síle člověka přiměřiti, čímž se nejen výhodnou, než i také pohodlnou stává.*

Obecný život zná dostatečně pohodlí, které mu přístroj páky při vykonávání rozličných prací poskytuje, jelikož se i naše potrava tímto umělým spůsobem připravuje a požívá. Lžíce, vidlička a nůž jsou páky, které ruka naše jednou částí podporuje a druhou zvedá a tlačí. Tímž spůsobem známe výhody vidlí, lopat, šoufů, kos a p. nástrojů. Také jest dobře známo, že na každém noži, na př. na opřené kose slámu a jiné řezati můžeme; než daleko pohodlněji a rychleji se to děje, když se kosa jedním koncem upevní a druhým se jí co páky v ruce naší užívá, jak se práce tato na obyčejných řezačkách našich vykonává. Po-

Obraz 72.



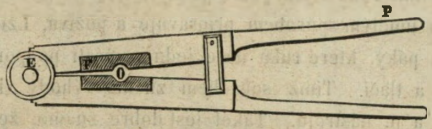
dobně se dá i každý jiný nůž (obr. 72.) jedním koncem *C* upevniti, aby ruka naše na druhém *P* působiti mohla. Mimo rychlejší práci docílí se tím i většího úsilí, jelikož rameno síly mnohem větší jest než rameno břemena, které se zde dle potřeby z velikosti *CB* až na *CA* zmenšiti dá, protože se předmět na rozličná místa od *A* až do *B* pod ostří nože klásti může. Že se tímto

*) Více o tom v *Naukách technických o spojivosti* str. 81. a 82.

způsobem nejrozmanitější látky řezati a sekati dají, a že v případu, když se páka k jinému náčiní upevní, tlačením a lisováním i jiných velmi rozmanitých účinků tím dosáhnouti možno, rozumí se samo sebou. Příklad máme na mědlici na len a j.

Je-li to práce malá, o kterou se tu jedná, utvoří se i z podkladku *F* páka, aby obě ruce aneb vůbec obě strany současně působily, a páka podporu svou v sobě nesouc k místu určitému, jako nahoře k ploše *F*, vázána nebyla. Příklady toho máme na obyčejných kleštích a p., které již v sobě potřebnou podporu mají. Pohodlí poskytované nám pákou vůbec ukazují nápadně nůžky všeho druhu. Známoť, že se na př. papír, plátno a p. nůžkama mnohem rychleji a pravidelněji rozstříhává, než by se to rozřezati dalo. Ačkoli se citrony i pouhýma rukama vymačkávati a ořechy obyčejným způsobem tlouci dají a p., nicméně děje se to daleko pohodlněji a rychleji přístrojem páky, ano i

Obraz 73.



s lepším výsledkem. Představíme-li si páku v podobě, jakou obr. 73. ukazuje, dá se zařízení takového k těmto a mnohým jiným podobným účelům výhodně upotřebiti, když se jen do ní vždy pro předmět přiměřené ložisko *F* vloží, aby předmětu v *O* žádoucí prostor poskytovalo. *E* jest osa stroje, následovně i podpora páky, tak že se *EO* ramenem břemena a *EP* ramenem síly stává. Dle účele stroje mění se velmi rozmanitě podoba jeho; dělá se větší menší, ze dřeva, z kovu a t. d.

Obraz 74.

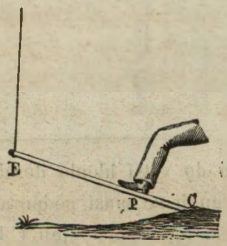
Páka se dá i s jinými nástroji spojiti a vůbec i jiných nástrojů co páky upotřebiti, jak to dobře na *kladivu* (obraz 74.) viděti jest, které hřebíky zatloukati a zároveň v čas potřeby i vytahovati má. Páka tato nalezá v *C* svou podporu, tak že pak kolmá vzdálenost podpory *C* od směru síly *P* ramenem síly a právě taká vzdálenost bodu

C od směru břemena *Q* ramenem břemena jest. I tesařské příruční sekerky mají přiměřené otvory a výkrojky, aby se na ně hlavy hřebů uchycovati a vytahovati mohly, čímž sekerka v čas potřeby i úlohu páky vykonává. Jiný příklad páky nám ukazuje veslo, cep a p.

Často se stává páka i tam výhodná, kde člověk při práci obě ruce zaměstnává, aby si zároveň potřebné pohybování sám nohou vykonával, jako na brusu, na soustruhu, u přeslice a p. Že tu

Obraz 75.

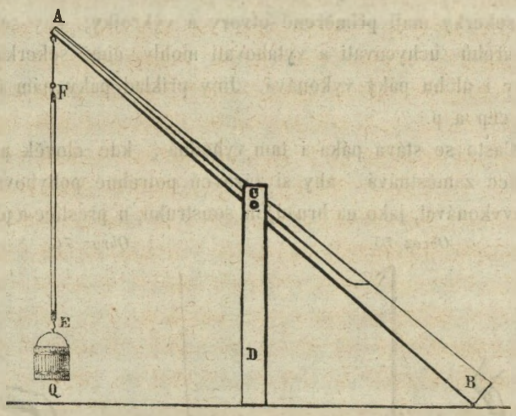
Obraz 76.



dvojí druh páky (totiž *podnožky*) možný jest, a sice obr. 75. a obr. 76., rozumí se samo sebou. Rozdíl leží podstatně jen v zařízení stroje, poněvadž se pákou uskutečněné pohybování teprv na jiné stroje přenáší. Jinak ovšem viděti jest, že podnožka na obraze 75. žádá, aby noha menší silou působila, za to však větší dráhu konala, poněvadž rameno síly *PC* větší jest, a že při podnožce na obr. 76. opak toho platí. Proto se také zařízení obrazu 76. lépe hodí pro přeslice, brusy a p. lehké práce, kdežto zařízení obrazu 75. hrubším pracím na soustruhu a j. slouží.

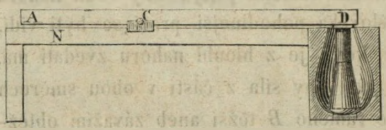
Zajímavý příklad upotřebení páky k pohodlí našemu při práci vidíme také na vážení vody *váhou* (obr. 77.). Není-li studna příliš hluboká, postačuje dlouhé rameno páky, aby vodu nahoru vytáhlo. Poněvadž pro člověka pohodlnější prací se býti vidí, dolů-li závaží táhne, než když je z hloubi nahoru zvedati má, rozděluje se váhou práce tak, aby síla z části v obou směrech působila. Páka, jejíž druhé rameno *B* těžší aneb závažím obtěžkáno jest, stáhne se tyčí *EF* dolů, aby pak vodou naplněné vědro Q sama zase váhou svou nahoru zvedati pomáhala. Hloubka studny nemůže být ovšem větší než tyč *EF*, na které okov upevněn jest.

Obraz 77.



Má-li do větší hloubi dosáhnouti, musí tyč *EF* i rameno *AC* delší býti aneb se musí podpora *C* dále ku konci váhy *B* postrčiti, aby se tím rameno její *CA* delší stalo. Dráha, kterou okov při vážení vody opisuje, blíží se tím více kolmé čáře, čím rameno váhy *AC* delší jest, a naopak. Z toho následuje, že se váha prodloužením ramena *AC* k práci výhodnější stává, protože se okov o stěny studně neotlouká a tyč z rukou pracovníka netáhne. To jest příčinou, že se konec *B* přiměřeně obtěžkává a osa *C* mu co možná sbližuje. Vyrejsujeme-li si na nějaké ploše oblouk, který bod *A* při vážení opisuje, snadno uznáme, že pro výhodné zařízení stroje potřebí jest, aby výška podpory *D* polovinu hloubky studny obnášela. K tomu bývá však ještě potřebí, aby se do země zvláštní kůl zapustil, o který by se obtěžkaný konec váhy *B* opírati mohl.

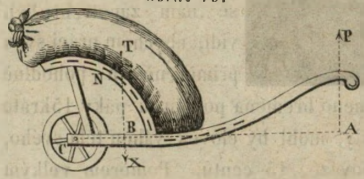
Obraz 78.



Jiný příklad, jak si člověk práci usnadňuje, máme na obyčejné *šlapací stoupě* (obr. 78.). Jelikož zvedání větších břemen do výše pro člověka nepohodlnou prací jest, na př. kladiv, těžkých palic v moždýři a p., usnadňuje si to dle okolností buď pružinkou, buď *stoupou*, aby zvedání břemena *našlapáváním* uskutečnil,

Je-li břemeno čili hlava stoupy jak obyčejně lehčí než váha těla našeho, může se mu delší rameno *CD* dáti, čímž se více výhod zároveň docílí. Palice se zvedá více, padá následovně s větší výše, a člověk, který na rameno kratší *CA* šlape, nemusí nohou hluboko na stoupu napadávati. Má-li palice větší váhu, může se délka stoupy rozděliti na 7 stejných dílů, z nichž by tři na rameno síly připadaly; při menší váze rozdělí se na 5, a tu by se dva síle přidělily. V účinku samém není podstatného rozdílu; nebo je-li palice lehčí, zvedá se dle hořejšího zařízení zase výše a naopak. Hlavní věcí jest, aby se vyšetřila přiměřená hloubka, do které tělo člověka při práci padati má. Za touto příčinou se může poloha osy *C* i zkusmo ustanoviti. Právě tato okolnost žádá, aby se rameno síly *CA* jen tak hluboko pod rám *N* sešlapovalo, jak vysoko v rovnováze nad ním stojí, aby se tělo od přirozené postavy své příliš neodchylovalo. Uspořádání palice řídí se účelem jejím, zdali totiž stroj na kroupy, třísla neb j. připraven býti má.

Obraz 79.



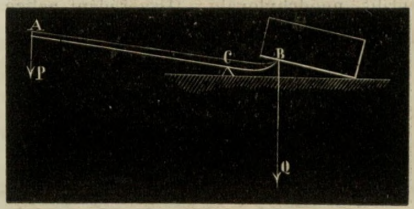
Neméně důležité upotřebení páky máme na *kolci* a na *trakaři*. Co se rovnováhy týká, má se to asi tak, jakobychom v rukou jedním koncem opřenou lať aneb tyč *AC* drželi (obr. 79.). Rozdíl leží v tom, že trakař břemenem obtěžkán jest a že se břemeno k podpoře libovolně sblížiti může. Je-li těžiště trakaře i břemena v bodu *T*, jest *BC* rameno břemena, poněvadž se směr jeho *x* v bodu *B* s přímkou *AC* stýká. Síla *P* jest tolikráte menší než břemeno, kolikráte rameno její *AC* větší jest než *BC*. Při skutečné práci se také břemeno kolečku, které zde podporou jest, co možná sbližuje, aby rameno břemena malé bylo. Musí se však k tomu hleděti, aby směr břemena kolečkem procházel, poněvadž by se jinak všecko stranou dolů táhlo. Výhodné jest následovně, když věnec kolečka, tedy podpora páky, o něco širší a ramena trakaře delší jsou. Čím výše břemeno leží, tím více roste točnost jeho při každém nahnutí

trakaře. Z toho vysvítá, že žebřinka *N* tak blízko u kolečka býti má, jak se to jen provésti může. Že se čípky čili osy tlustší dělati nemají než potřeba káže a že větší kolečko pro skutečnou práci výhodnější jest, musí se vysvětliti na jiném místě.

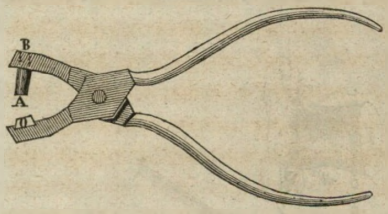
54. *Pákou stává se nám mnohá práce možná, která by se jinak provésti nedala aneb která by alespoň u vykonání mnohé nepohodlí způsobila.*

Příčina leží v tom, že se poměr ramen na páce libovolně utvořiti a tím i žádoucího poměru sil docíliti dá. Nebo rameno-li síly dlouhé jest, uskuteční se i nepatrnou silou velkého tlaku, kterého se pak k rozličným potřebám použiti dá, na př. k lisování (presování), k stahování, jako pavuzy na senných vozech a t. d. Nápadně se rozdíl tento jeví u *sochoru* (Brechſtange) (obr. 80.). Poněvadž si podporu *C* dle libosti voliti můžeme, uskutečníme si při práci vždy takové poměry, jakých se nám zapotřebí býti vidí, abychom práci svou přiměřeně a pohodlně konali. Kdyby se na př. rameno břemena podporou páky 15kráte menší udělalo než rameno síly, mohl by člověk váhou těla svého, t. 100 lb., udržovati v rovnováze 15 centů. Poměrem velkým (*CA* : *CB*), t. j. přílišným sblížením podpory k břemenu *Q* udržujeme ovšem malou silou *P* veliké břemeno v rovnováze, ano i zvedáme je, avšak jen na malou výši, kdežto se naopak značnější výše dosáhne, podpora-li od břemena dále jest, jen že se právě v té míře i síla zvětšiti musí, aby se s břemenem v rovnováze udržela. Že se této výhody s prospěchem i jinak v průmyslu užívá, rozumí se samo sebou. Podobné výsledky již pozorovati možno na *kleštích*, jichž se v rozličné podobě při sdělávání kovů upotřebuje. Také to viděti jest na stroji podobném (obr. 81.), kterým se dosti snadno a rychle dirky do kůže dělati dají. Na dolejším rameně jest podloha *O* ze dřeva aneb z nějaké měkší látky, aby ostří okrouhlého nože *A* při protínání kůže neotupělo. Nůž

Obraz 80.



Obraz 81.



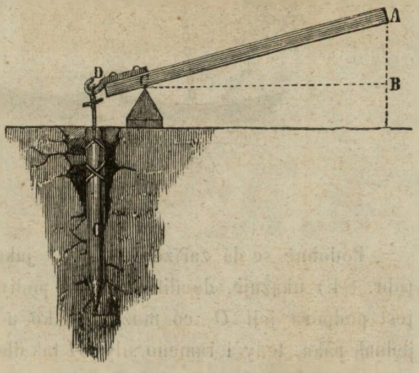
tento jest dutý, tak aby otvorem *A* vykrojené kroužky kůže hořejším otvorem *B* volně procházeti mohly. Rozumí se samo sebou, že otvor *A* dle potřeby větší i menší býti může.

Na spůsob svrchu zmíněných sekáčků dají se z dobrého

Obraz 82.

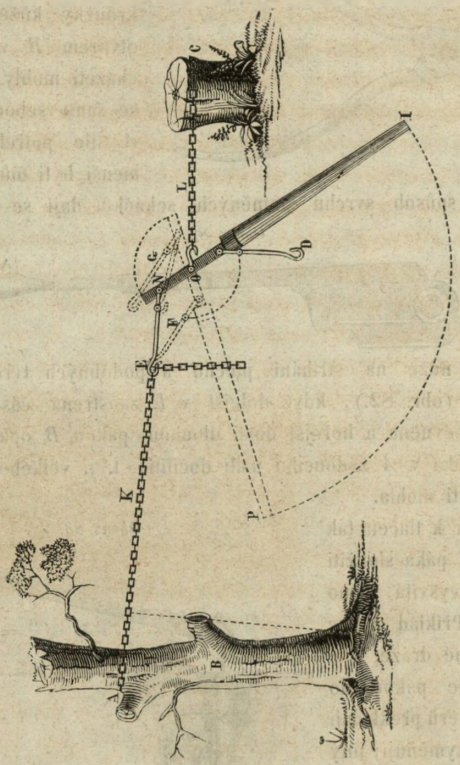
ocele i nůže na střihání plechu a podobných tvrdých věcí zhotoviti (obr. 82.), když dolejší v *E* zaostřená část jejich *D* dobře upevněna a hořejší dosti dlouhou pákou *B* opatřena jest, aby jí ruka v *A* žádoucího úsilí docíliti, t. j. velkého momentu dosáhnouti mohla.

Obraz 83.



Že jak k tlačení tak k táhnutí páka sloužiti může, vysvítá samo sebou. Příklad máme na železné dráze, kde se koleje pákou do jiných směrů překládají a vůbec vyměňují; jiný nám ukazuje obraz 83. Zachytí-li se hák páky za provaz, na kterém kůl *O* dobře uvázán jest, třeba jen podporu *C* ke kůlu co možná sblížiti a na konci dlouhého ramena páky *A* přiměřenou silou působiti, aby se kůl zpovolna vytahoval. Dostatečným sblížením podpory *C* k provazu *D* možno rameno břemena *CD* tak zmenšiti, že je rameno síly *CA* aneb i při méně výhodném působení síly rameno *CB* mnohohráte převyšuje. Ucho-

pí-li se páky více lidí zároveň, jest působnost těchto sil na kůl veliká.

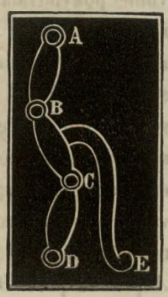


Obraz 84.

Podobně se dá zařízením páky, jaké nám *páčidlo hákové* (obr. 84.) ukazuje, docíliti výsledků podivuhodných. Nebo jednak jest podpora její *O* co možná blízko u působiště břemena *N*, jednak páka, tedy i rameno síly *OI* tak dlouhé jak se v skutečnosti provésti dá. Upevní-li se páka tato řetězem *L* k dosti pevnému předmětu, na př. k silnému pařezu *C*, aby v něm žádoucí podpory nalezla, může se hákem *E* řetězu zachytnouti, na který strom *B* aneb jiný předmět, jenž se z polohy své vyvrátiti má, uvázán jest. Otáčí-li jeden nebo více pracovníků chodě páku

v kruhu *IP* jak puntíky naznačeno, sblíží se její hák *D* tak k řetězu, že se v poloze *F* za vzdálenější článek jeho zachytnouti může, aby se pak zase zpáteční cesta nastoupila, až se na novo druhý hák *G* novému řetězovému článku dostatečně sblíží. Jak z věci vysvítá, opakuje se práce tato tak dlouho, až se vytknutého účele dosáhne. Je-li na př. podpora *O* od *N* a od osy háku *D* vzdálena 4″ a rameno páky $OI = 12' = 144''$ dlouhé, tedy rameno síly 36krát větší než rameno břemena, může břemeno 36krát větší býti než upotřebená síla. Kdyby člověk v takovýchto krátkých dobách 50 lib. působil, držela by síla jeho rovnováhu s břemenem 1800 lib. Dvá lidé, jichž působnost v takovémto případu se na 100 lib. ceniti může, požadovali by odpor 36 centů, aby se rovnováha udržela. Žeby i více lidí zároveň na této páce účinkovati mohlo, rozumí se samo sebou. Z předešlého také vysvítá, že se účinek na kořen tím větší stává, čím místo *A*, kde se řetěz stromu uchycuje, na stromě výše leží, poněvadž tím točnost upotřebených sil roste. Velikost její by se ustanovila, kdyby se napnutí řetězu násobilo vzdáleností jeho od kořene, jak to vytečkováno jest. Přiložený obraz sám již ukazuje, kde se podobné páky upotřebiti může. Ostatně všecky případy chtíti vypočítávati, kdeby se podobného sestrojení páky a vůbec rozličných *páčidel* upotřebiti dalo, není ani možno, jelikož nikdo všecky potřeby lidské nezná, ano se tyto maně a nepředvídaně v životě naskytují. Tak se může i nahoře uvedené *koleno* s pákou spojiti, dílem aby se pohodlněji na ně působilo, dílem aby se účinek jeho pákou zvýšil. K tomu účelu mohla by se páka libovolné délky nad osu *C* (obr. 21.) kolmo k ramenu *CI* přidělati. Účinek kolena dá se i tím znamenitě zvýšiti, že se z tří článků (obr. 85.) složiti může, když se k tomu páky užije, aby se na toto složené koleno působiti mohlo. K střednímu článku *BC* přidělá se tak dlouhá páka *E*, jak se zapotřebí býti vidí. V *A* se může koleno opírati o pevnou stěnu, v *D* o předmět.

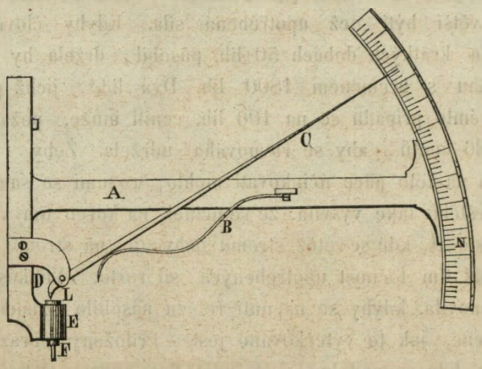
Obraz 85.



55. Ačkoli se hlavně svrchu zmíněnými dvěma způsoby, jimiž páka praktickému životu

slouží, důležitost její ukazuje, dá se přec i ještě množs tví jiných případův uvésti, ze kterých výhodnost její neméně patrna jest. Jmenovitě se musí podotknouti, *že se často umělým přístrojem stává, aby se jím buď nějaké nepatrné pohybování značným a nápadným stalo, buď aby se jím směr pohybujících se hmot dle žádosti a potřeby měnil.* Sloužíť páka spůsobem takovýmto také k dokonalosti jiným strojům.

Obraz 86.

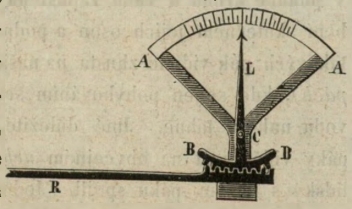


Aby se pohybování nějaké samo v sobě nepatrné nápadným stalo, třeba jen jedno rameno páky co možná malé, druhé však naopak co možná velké udělati. Obraz 86. ukazuje podobný umělý nástroj, tak zvanou *skoumací páku,* kterou se pohybování nejen značné stává, nýbrž vždy také ukázati dá, jak velké se bylo stalo. Páka tato spočívá na ocelové ose *L,* která se obyčejně jen zašpičatí a špicema do ložiska klade, aby se dosti volně pohybovala. Delší rameno páky *C* může se 50....100 i vícekráte větší udělati než rameno kratší u *D,* aby se i dosti nepatrné hnutí ramena kratšího na rameně delším *C* dosti patrným stalo. Poněvadž se konec ramena *C* v kruhu pohybuje, přidělává se pod něj dobře rozdělený oblouk *N,* aby se z povstalého úhlu na zvýšení konce ramena kratšího, tedy i na prodloužení hmoty, na které toto spočívá, souditi dalo. Dílem aby rameno delší váhou svou nepadalo, dílem aby konec ramena kratšího od hmoty neodstával, jejíž prodloužení vyznačiti má, přidělává se k rámci *A* pružné péro *B,* které páku stále v náležité poloze drží. Konec

ramena kratšího u *L* dělá se z ocele, aby se neotíralo a tak zpovolna nezkracovalo. Aby také jiná hmota tím koncem netrpěla, zakrouží a vyleští se. Má-li se to ještě umělcji provésti, zařizuje se stroj obyčejně tak, aby kratší rameno páky na roubíčku spočívalo, který dutým válcem *E* prochází a dolejším koncem *F* s hmotou se stýká, na které se změny v rozměrech jejích stanoviti mají. Změna délky, která každému úhlu přináleží, může se zkusmo aneb počtem ustanoviti. Připojí-li se k oblouku i *nonius*, dají se strojem tímto změny v délce i tisícin bodu rozeznávati. Rámec *A* a *D* slouží dílem co podloha stroje, dílem co přístroj, aby se páka tato tam přidělati mohla, kde jí potřebí jest. Že se tím i pravidelnost ploch a těles, na př. okrouhlost jejich a j., skoumati může, rozumí se samo sebou.

Jiný spůsob, jímž se také změna v rozměru těles vyznačiti dá, záleží v tom, že ozubené raménko páky *BCB* (obr. 87.) do zubů tyče *R* zasahuje, na které se změny v délce stanoviti mají. Jelikož se tím i druhé raménko páky v podobě ukazováčku *L* pohybuje, dá se na oblouku *AA* každé pohnutí čili pošinutí tyče *R* snadno pozorovati. Raménko *L* ukáže na oblouku *AA* úhel, a tím tedy i kolikátá část celého velkého i malého kruhu zároveň se byla tyčí pošinula. Známe-li raménko páky *CB*, které poloměrem kruhu jest, dá se i kruh celý *BB* a tím i pošinutí tyče *R* snadno vypočísti, jelikož tak velké jest jako délka pošinutého oblouku *BB*.

Obraz 87.

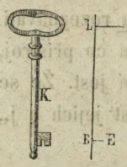


56. Co se upotřebení páky týká, aby se jí směr nějaké dané síly měnil a působiště její z jednoho místa na druhé přenášelo, třeba jen upozorniti na naše obyčejné, do všech poschodí a dvorů sáhající domácí zvonce, kterými se směr síly stále mění a působiště její z místa na místo přenáší. Právě takovýmto spůsobem pouštívá se voda na kolo, vytahují se stavidla, otvírají se roury a p. v dosti velké vzdálenosti a v rozličné výši. Také páka jest to, kterou se řemeny u strojů z jednoho kotouče na druhý překládají, kterou se kola do spojení s jinými pošinují a

spojení jich s jinými pohybujícími ruší a p. Z toho vysvítá, že i stejnoramená páka, na které v rovnováze síla tak velká býti musí jako břemeno, tím výhodná býti může, že se jí směr libovolně zaříditi a měniti může, aneb že se pákou sil upotřebiti dá, které v rozličných směrech působí.

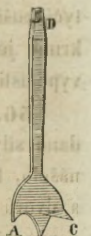
K docílení žádoucího účinku mívá páka často takové zařízení, že ramena její v rozličných místech nějakého pevného celku zapuštěna jsou, aby se tím nejen rozličný směr možný stal, než aby se i působení v libovolné ploše díti mohlo. Jasný příklad toho máme na *klice* a na *klíči* (obr. 88.), jehož větší rameno *LI* v rukou držíme, menší však *BE* v zámku se o péro opírá. Obě tato ramena jsou, jak viděti, v podobě kruhu a zubu zapuštěna do válce *K*, který v upotřebení skutečném jejich osou a podporou jest. Podobné příklady takových pák vidíme zhusta na našich novějších čerpadlech *(pumpách)*, kde se jen pohybováním sem a tam ve směru vodorovném voda nahoru táhne. Jiné důležité upotřebení takového zařízení páky viděti jest na obyčejném *nebozezu*, kde průmyslný duch lidský s nožem páku spojil. Jednak k tomu slouží obyčejný dřevěný dvojatý kužel, který se na vrták naráží, jednak zvláštní umělá násada (obr. 89.), do které se vrták zapouští. Výhoda násady této záleží hlavně v tom, že se při vrtání žádoucí směr od *A* k *F* snáze zachovati a na hlavu její *A* pravidelněji tlačiti dá, mezi tím co jej ruka v *B* volně otáčí. Mimo to poskytuje i tím zvláštní výhody, že se na dolejší části *F* přiměřeným otvorem opatřuje, aby se do něho vrtáky všeho druhu zasaditi daly. Téměř nevyhnutelným přístrojem stává se pro *vrtáky vykrojovací* (obr. 90.), jakých se vždy k umělejší práci upotřebiti musí. Střední nejdelší špic jeho *B* slouží k tomu, aby se jí střed žádoucího otvoru vytknul; pravé raménko *A* jest ostrý tesák, který otvor vykružuje čili vyřezává, aby se dřevo neštípalo;

Obraz 88.



Obr. 89.

Obr. 90.



levé *C* jest nakloněný ostrý nůž, který odříznutý otvor tento vybírá, jej vykrojuje. Hořejší konec *D* zasadí a upevní se v přiměřené poloze do otvoru nebozezové násady *F*. Vrtákem obyčejným nedá se ani střed přísně vytknouti, jelikož se do dřeva spirálně zatáčí, ani to předejíti, aby se jím tenší dřevo zvláště na koncích neštípalo.

57. Ačkoli výhody páky takřka neocenitelné jsou, poněvadž se jí nesčíslné množství úloh práce skutečného života vykonati dá, nicméně jest přece upotřebení její dosti obmezeno, poněvadž se

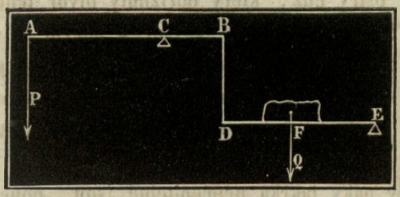
a) *každý sebe větší poměr sil na páce uskutečniti nedá* a

b) *pohybování většího čili větších cest pákou vykonati nemůže*, jelikož zvedání a vůbec pohybování tímto strojem jen na malé dráhy obmezeno jest.

Větší poměr sil dal by se uskutečniti, když by více sil na jednu páku zároveň působilo, aby břemeno v rovnováze udržovaly. Bylo by jen zapotřebí, aby součet momentů všech sil právě tak velký byl jako moment břemena, čili aby moment výslednice, tedy i točnost její nulou byla. Z toho vysvítá, že se dostatečným zmnožením sil vždy rovnováha uskutečniti dá, byť břemeno i sebe větší bylo. Kdyby však všecky síly, jichž se upotřebí, na jednom rameně působiti nemohly, dalo by se upotřebiti tolik ramen, kolik sil působí, aby každá své zvláštní rameno měla. Bude-li točnost všech sil dohromady tak velká jako točnost břemena, objeví se také rovnováha. Příklad toho může nám znázorniti páka na obraze 65., kdyby to pevný celek byl, na který tolik sil působí, co ramen má.

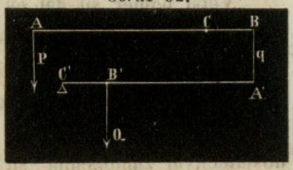
Má-li se jednou pákou velký poměr sil uskutečniti, možno ovšem k tomu užíti známého prostředku, t. prodloužení ramena síly. Avšak obmezenost prostoru, nepohodlné ano i nemožné vykonávání práce na příliš dlouhé páce, konečně i přílišná váha její ukazuje dostatečně, že se při skutečném upotřebení jen na obyčejné délce páky přestati musí. Má-li se potřebám v mnohých případech přece vyhověti, spojuje se více samostatných pák v jednu, aby se větším počtem vykonalo, co jedinou možné nebývá. Je-li *Q* (obr. 91.) břemeno, které na páce *DE* spočívá,

Obraz 91.



musí býti síla, která je na provaze *DB* v rovnováze udržovati má, tolikráte menší, kolikráte rameno její *DE* větší jest než *FE*. Účinek břemena v *D* nemusí se však silou bezprostředně překonávati, než možno jej považovati opět za břemeno, které se na páce *AB* silou *P* v rovnováze udržuje. Z toho vysvítá, že se zmenšený účinek břemena *Q* v bodu *D* a *B* na páce *AB* větším ramenem síly *P* ještě jednou zmenší. Rozumí se samo sebou, že by se to i vícekráte opakovati mohlo, kdyby se na př. podobným způsobem k *A* ještě jedna páka přidala a t. d. Nedopouští-li však prostor takového rozšíření pák, může se klásti jedna pod druhou, na př. podpora *E* k levé straně pod páku *AB*, jakéž zařízení obraz 92. ukazuje. Abychom si podmínky rovnováhy v takovémto případu jasně představili, pozorujme jednu páku po druhé. Je-li *C* podpora páky *AB*, jest jak známo pro rovnováhu zapotřebí, aby $P : q = BC : AC$ bylo, z čehož se výsledek síly *P* v bodu *B*, totiž velikost síly *q* ustanoviti dá. Toto *q* jest silou pro páku $A'C'$, kde *Q* břemenem jest, jehož velikost z $q : Q = B'C' : A'C'$ vysvítá. Je-li $BC = 1$ a $AC = 4$, jest *q* čtyřikrát tak velké jako *P*, t. j. $q = 4P$. Je-li $B'C' = 1$, $A'C' = 3$, jest *Q* třikrát tak velké jako *q*, t. j. $Q = 3q$, tedy třikrát tak velké jako čtyřnásobné *P* č. $Q = 12P$. Nebo je-li $Q = 3q$ a $q = 4P$, musí $Q = 12P$ býti, tak že se na př. každou librou síly 12 lb. břemena na této páce v rovnováze udrží. Všeobecně bude

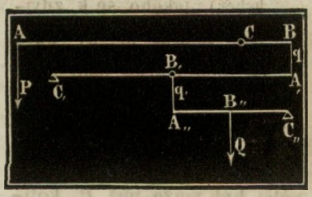
Obraz 92.



$$P : q = BC : AC$$
$$q : Q = B'C' : A'C'$$
$$P : Q = BC.B'C' : AC.A'C'$$

a pro svrchu zmíněný případ $P : Q = 1 . 1 : 4 . 3 = 1 : 12$.

Obraz 93.



Podobně se dají ustanoviti podmínky rovnováhy pro tři páky (obr. 93.). Páka AB a $A'C'$ se opakuje, tak že q' dle téhož zákona působí jako Q v příkladu hořejším. Přidá-li se k tomu ještě páka $A''C''$, stane se silou pro dané břemeno Q, tak že i zde zase $q' : Q = B''C'' : A''C''$ býti musí. Tímto postupem přijde se ze skutečné síly P na skutečné břemeno Q, jichž poměr bezprostřední ze svrchu uvedených následuje. Nebo odměříme-li si ramena všech tří pák, shledáme porovnáním délky jejich, kolikráte q v rovnováze větší býti musí než P, kolikráte q' větší jest než q a konečně kolikráte Q větší bude než q'. Z toho se snadno ustanoví, kolikráte Q v rovnováze větší býti musí než P, tedy jak velké břemeno Q síla P v rovnováze udržeti může. I naopak mohlo by se od břemena Q počíti a postupně velikost q', q a konečně i P vypočísti, t. j. ustanoviti, jak velké síly potřebí jest, aby se Q v rovnováze udrželo. Sestavíme-li všecky srovnalosti a vynecháme opakující se vnitřní a krajní členy jejich, obdržíme

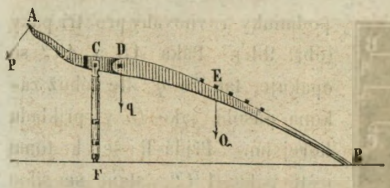
pro první páku $P : q = BC : AC$,
„ druhou „ $q : q' = B'C' : A'C'$,
„ třetí „ $q' : Q = B''C'' : A''C''$,

tedy pro celek $P : Q = BC.B'C'.B''C'' : AC.A'C'.A''C''$.

Pozoruje-li se každá páka sama o sobě, shledáme že BC, $B'C'$ a $B''C''$ ramena břemena, a AC, $A'C'$ a $A''C''$ ramena síly jsou, tak že se všeobecně říci může, *že síla (P) s břemenem (Q) v takovém poměru stojí jako součin ramen břemena k součinu ramen síly.* Je-li na př. $BC = 1$, $AC = 5$, na druhé páce $B'C' = 1$, $A'C' = 2$ a také $B''C'' = 1$ a $A''C'' = 2$ jest $P : Q = 1.1.1 : 5.2.2 = 1 : 20$, t. j. každá libra síly udrží se v rovnováze s 20 lb. břemena a naopak.

Známost zákona toho slouží nám jednak k tomu, abychom páky v každém složení vzhledem na působnost jejich posouditi a naopak pomocí více pák každý budsi jakýkoli poměr síly k břemenu sestrojiti dovedli. Za příklad nám může sloužiti známý

Obraz 94.



vozní zvedák (Wagenheber), jakého se k zdvihání náprav užívá, když se kola mazati mají (obr. 94.). Na první páce jest *AC* ramenem síly a *DC* ramenem břemena, tak že *q*, t. j. účinek v bodu *D*, tolikráte větší býti může než *P*, kolikráte *AC* větší jest než *DC*. Na druhé páce jest *DB* ramenem síly a *EB* ramenem břemena, tak že zase *Q* v rovnováze tolikráte větší jest než *q*, kolikráte *DB* větší jest než *EB*, z čehož se snadno ustanoví, kolikráte břemeno *Q* v rovnováze větší býti musí než upotřebená síla *P*. I naopak mohlo by se také od *Q* vycházeti, aby se velikost síly *P* ustanovila, které potřebí jest, aby dané břemeno *Q* v rovnováze udržovala. Dle hořejšího musí býti pro rovnováhu

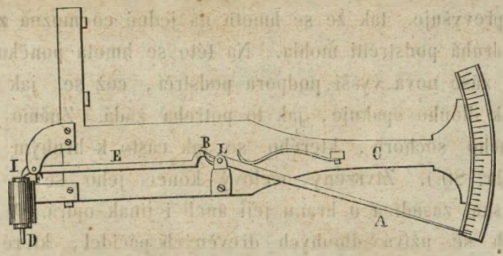
$$P : Q = DC . EB : AC . DB.$$

Je-li na př. $DC = 3''$, $AC = 20''$ a $DB = 6'$, $EB = 2'$, čili vůbec $DB = 3 . EB$, jest pro tento zvláštní případ

$P : Q = 3 . 1 : 20 . 3 = 1 : 20$, t. j. každá libra síly stojí v rovnováze s 20 lb. břemena, tak že člověk, který i 100 librami pro tento okamžik působiti může, touto pákou v *E* břemeno 20 centů v rovnováze udrží. Kdyby se naopak o to jednalo, jak by se podobný zvedák sestrojiti měl, aby se jím jakoukoli silou vždy 18krát tak velké břemeno držeti dalo, tedy aby pro rovnováhu $P : Q = 1 : 18$ čili $P = \frac{1}{18} Q$ bylo, třeba jen $\frac{1}{18}$ ve dva přiměřené činitele rozložiti, z nichž by na každou páku jeden přišel. Připraví-li se dle toho obě páky tak, aby na př. $CD : CA = 1 : 6$ a $EB : DB = 1 : 3$, tedy $P : Q = 1.1 : 6.3 = 1 : 18$ bylo, jest požadavkům stroje vyhověno. Poměr $CD : CA = 1 : 6$ snadno se uskuteční, když páku *AD* na 7 stejných dílů rozdělíme a podporu *C* v jeden díl k levé zařídíme. Pro uskutečnění poměru $EB : DB = 1 : 3$ musí především sloupec *CF* tak vysoký býti, aby se bod *E* s nápravou

setkávati mohl, když se stroj tento pod vůz podstrčí. Potřebí totiž, aby se vůz okamžitě zvedal, jak medle se páka v *A* dolů táhnouti počíná. Že se při takových hrubých strojích na váhu páky ohled bráti nemusí, rozumí se samo sebou, jelikož vliv této váhy poměrně k břemenu, kteréž se tu zvedá, téměř mizí.

Obraz 95.



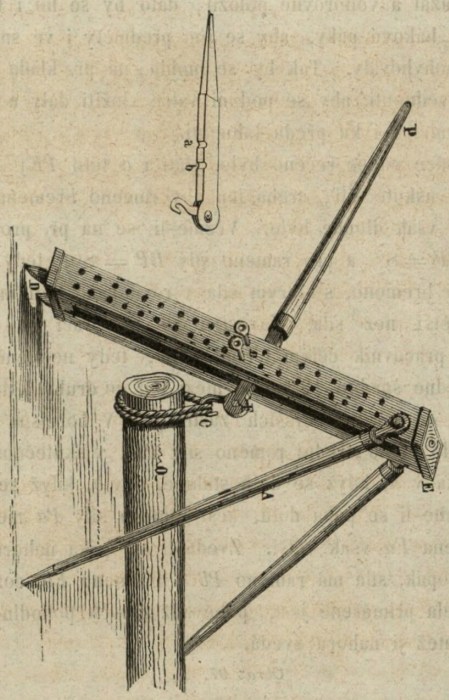
Na tomto základě povstane také *složená skoumací páka.* Ačkoli jednoduchá skoumací páka (obr. 86.) dosti citlivá jest, nicméně může se pomocí ještě jedné páky citlivost její značně zvýšiti. Obraz 95. ukazuje zařízení takové, složené z dvou pák, t. *IB*, která v *F* svou osu má, a *BA*, která se kolem *L* otáčí. Páka *E* spočívá koncem svým *B* na kratším rameně páky *A*. Účinek páky *BA*, která také na hořejším stroji (obr. 86.) podstatou byla, zvýší se zde ještě tolikráte, kolikráte *BF* větší jest než *IF*. Ostatní zařízení jest právě takové jako na jednoduché skoumací páce. Porovnáním délky ramen dá se zase počtem aneb zkusmo ustanoviti, jaké pošinutí roubíčku *D* s každou odchylkou páky *A* na oblouku souhlasí. Že se každá i dosti nepatrná nepravidelnost v podobě těles strojem tímto snadno poznati dá, vysvítá z věci samé.

58. Druhá okolnost, kterou se působnost páky značně obmezuje, záleží v tom, že se jí jen malá dráha vykonati, že se na př. pákou břemeno jen do malé výše zvednouti dá. Udělá-li se rameno páky dlouhé, aby větší dráhu vykonávalo, nesnese břemeno leč jen velmi malé; má-li se ale zvedati břemeno velké, musí býti na rameně krátkém, kterým se zase jen velmi malá dráha vykonati, tedy i jen do velmi nepatrné výše dosáhnouti dá. Tato vada přivedla přirozeně na myšlénku, aby se podpora

páky měnila, tedy stále zvyšovala. Nepadá-li hmota dolů s místa, na které byla zvednuta, jako na př. vodní stavidlo, vyhovuje tu výborně schůdkovitě zařezaný špalík, jelikož se vždy vyšší a vyšší schůdek jeho za podporu voliti může. Nemůže-li se však hmota sama držeti ve výši, do které jsme ji byli pozvedli, užívá se podpory dvojnásobné vedle sebe, z nichž jedna vždy druhou převyšuje, tak že se hmota na jedné co možná zvedne, aby se druhá podstrčiti mohla. Na této se hmota poněkud dolů spustí a zase nová vyšší podpora podstrčí, což se, jak přirozeno, tak dlouho opakuje, jak to potřeba žádá. Známo jest to u železného sochoru, kterého se tak často k hrubým pracím užívá (obr. 80.). Ztvrzený ocelový konec jeho se na př. do mezery skal zasadí a o hranu její aneb i jinak opírá. V jiných případech se užívá dlouhých dřevěných páčidel, které se co možná blízko u působiště břemena podpírají. Při trhání kořenů zvedne se sochor takový co možná do výše, podepře se na okrouhlé polínko a pak se počne kývavě sem a tam pohybovati. Předmět se tím tak uvolní, že se pod páku podpora vyšší podstrčiti dá, aby se práce tato opakovati mohla.

Pro některé potřeby skutečného života zhotovily se zvláštní umělé podpory, na kterých se zdvihání dosti pohodlně i do značné výše vykonati dá. Odtud povstala také rozličná zdvihadla naše, známá pode jménem *hasáků* (Hebläde). Hmota se totiž po každém zvednutí udržuje ve výši, kterou byla již dosáhla, a může se zase znovu ještě výše zvedati.

59. *Hasák obyčejný* jest viděti na obraze 96. Dvě asi 9″ široké, 2″ tlusté a 6—7′ vysoké fošny spojí se nahoře i dole dřevěnou asi 3″ širokou příčkou v pevný sloupec, který se ještě na obou koncích železným obručem *E* stáhne. Žeby se stroj tento i z celistvého špalku zhotoviti dal, rozumí se samo sebou, jen že s tím větší práce jest. Fošny tyto provrtají se v náležitých rozměrech, tak aby se do otvorů jejich železné koliky *B* strkati mohly. Levé rameno páky *P* opírá se o jeden kolík a stáhne se tak hluboko dolů, až se pravé rameno *F* tak vysoko zvedne, že se železný kolík do vyššího otvoru pohodlně pod něj vstrčiti může. Nyní se pustí levé rameno *P* nahoru, aby se páka



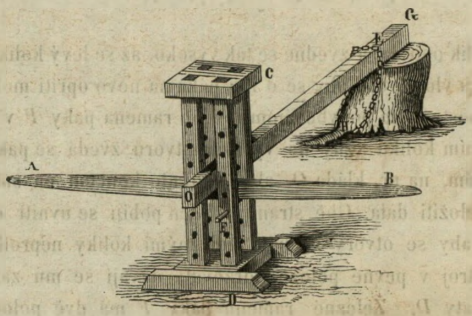
Obraz 96.

o vyšší kolík opírala, a zvedne se tak vysoko, až se levý kolík do vyššího otvoru vložiti dá, aby se o něj páka na novo opříti mohla. Takovýmto postupným pohybováním levého ramena páky *P* v kruhu a zastrkováním kolíků vždy do vyšších otvorů zvedá se páka a jí i předmět sám, na př. kláda *Q*, aby se tímto koncem na šmyk aneb na vůz naložiti dala. Obě stranice fošen pobijí se uvnitř obyčejně plechem, aby se otvory sloupce železnými kolíky neprotlačovaly. Aby se stroj v pevné poloze udržoval, dávají se mu zašpičatělé železné paty *D*. Železné rameno páky *F* má dvě polookrouhlá ložiska *a* a *b* v také vzdálenosti, v jaké otvory od sebe leží, aby se s kolíků nesesmykovala. Opěráky *A* poskytují tu výhodu, že vůz pod kládu vjeti může, která se jen zcela volně na něj spustí a uváže. Kdyby se spodek hasáka *D* k nějaké pevné

podpoře uvázal a vodorovně položil, dalo by se ho i tak upotřebiti jako hákové páky, aby se jím předměty i ve směru vodorovném pohybovaly. Tak by se mohla na př. kláda hasákem napřed pozvednouti, aby se pod ni válce vložiti daly a pak hasákem na válcích i ku předu táhnouti.

Co o páce vůbec řečeno bylo, platí i o této *PF*; má-li se větší poměr uskutečniti, třeba jen aby rameno břemena krátké, rameno síly však dlouhé bylo. Vezme-li se na př. pro rameno břemena $BF = 8''$ a pro rameno síly $BP = 8'$, tedy 12kráte více, bude i břemeno, s kterým síla v rovnováze býti má, právě tolikráte větší než síla. Zavěsí-li se při práci na levé rameno páky pracovník celým tělem svým, tedy nejméně jedním centem, zvedne snadno 12 centů, mezi tím co druhý kolíky v čas vytahuje a do otvorů vyšších zastrkuje. V hořejším příkladě vzali jsme do počtu střední rameno síly *PB*; v skutečnosti opírá se však páka v *a*, když se dolů stahuje, a v *b*, když se nahoru zvedá. Táhne-li se páka dolů, jest rameno síly *Pa* menší, rameno břemena *Fa* však větší. Zvedá-li se páka nahoru, jest to právě naopak, síla má rameno *Pb* a břemeno *Fb*, což ovšem náhodou zcela přiměřené jest, poněvadž člověk pohodlněji páku dolů táhne než ji nahoru zvedá.

Obraz 97.

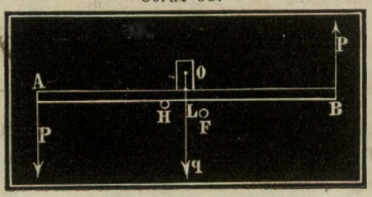


60. *Hasák švédský*, který nám obraz 97. představuje, skládá se ze čtyr přiměřeně vyvrtaných sloupců, které se základnou *D* a hlavou jeho *C* v pevný celek spojují. Podstatný rozdíl jest jedině v tom, že zde dvě páky působí, aby se účinek

jedné páky druhou zvýšil. Hasák na přiloženém obraze má za účel ze země povytáhnouti kořen *H* pařezu *G*, ku kterému páka *OG* řetězem přitažena jest. Pařez tvoří hranou svou u *G* podporu páky, a do země zapuštěný kořen jeho *H* jest břemenem jejím. Rameno páky *O* spočívá na jiné páce, která na kolíkách *F* leží. Při práci se obyčejně tři zúčastňují, z nichž jeden rameno *A* dolů tlačí, druhý rameno *B* nahoru zvedá a třetí kolíky *F* do vyšších otvorů postrkuje. Podmínky rovnováhy snadno se ustanoví, když se z jedné páky na druhou přejde. Je-li na př. na pařezu podepřená páka $OG = 18'$, druhá však $AB = 12'$ dlouhá a je-li řetěz od podpory *G* dvě stopy vzdálen, t. $EG = 2'$, potřebí na druhém konci *O* pro rovnováhu síly 9kráte menší. Je-li kolík, t. j. podpora *F* páky *AB*, jejíž jedno rameno $6' = 72''$ dlouhé jest, od podepřené druhé páky *O* 4″ vzdálen, jest v bodu *B* 18kráte menší síly potřebí než břemeno obnáší, které koncem druhé páky *O* na ni působí, aby se rovnováha udržela. Vezme-li se od 9tého dílu břemena, které v *O* působí, 18. díl, obdrží se 162. díl celého břemena, který v *A* aneb v *B* co síla s břemenem v rovnováze jest. Působí-li na každém rameně páky jeden člověk jen obyčejnou silou 30 lib., tedy obá dohromady 60 librami, vyrovnává se to břemenu čili působí na řetězu v bodu *E* silou 162. 60 lib. = 9720 liber, tedy sblíženě desíti centů. I naopak mohli bychom počítati, že účinek 1 lib. v bodu *A* aneb v *B* se vyrovnává účinku 18 liber na rameně *O* a že těchto 18 lib. v *O* má v bodu *E* účinek 9kráte tak velký, tedy 9 . 18 lib. = 162 lib.*). Že zde jen sblíženě

*) Vyznačí-li se účinek břemena, které v bodu *E* působí, na konec páky *O* písmenem *q*, jest velikost jeho $q : Q = EG : OG$ čili $q = \frac{EG}{OG} Q$.

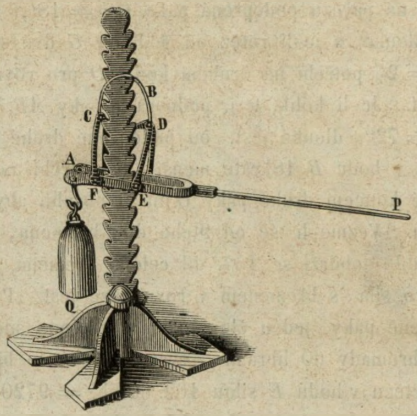
Obraz 98.



Obraz 98. představuje páku *AB* samu o sobě. Ona spočívá na kůlci *H*, v bodu *A* táhne ji síla *P* dolů, v bodu *B* zvedá ji právě tak velká síla *P* nahoru. Moment břemena *q*, které koncem druhé páky *O* na

počítáno, rozumí se samo sebou, jelikož se velikost ramen ani přísněji ustanoviti nedá. Také z věci samé vysvitá, že by se ještě větších poměrů upotřebiti mohlo, kdyby se to zapotřebí býti vidělo, jelikož rameno *OG* ještě mnohem větší býti může. Podotýkati netřeba, že se upotřebení tohoto hasáku na tahání kořenů, které se v novější době výhodně prachem trhají, obmezovati nemusí, než že i k jiné podobné práci dle potřeby sloužiti může.

Obraz 99.



61. *Hasák francouzský* (obr. 99.) skládá se ze silného železného sloupce, který na pevném podstavci spočívá a místo

---

ní působí, jest $q.HL$, aneb je-li vodorovná vzdálenost kůlců H a F od sebe a, také $q \,.\, {}^1/_2 a$. V rovnováze jest tedy

$${}^1/_2 q\, a = P.AH + P.BH = P(AH + BH) = P.AB.$$

Je-li délka páky $AB = d$, povstane z toho $P = {}^1/_2 q \frac{a}{d}$, následovně

$$P = {}^1/_2 Q \cdot \frac{a}{d} \cdot \frac{EG}{OG} \quad \text{čili} \quad \frac{P}{Q} = \frac{1}{2} \cdot \frac{a}{d} \cdot \frac{EG}{OG}.$$

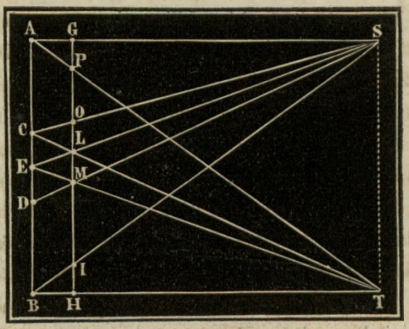
Kdyby na př. $EG = 2'$, $OG = 12'$, $a = 8'' = {}^2/_3{}'$ a $d = 8'$, bylo by $\frac{P}{Q} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3.8} \cdot \frac{2}{12} = \frac{1}{144}$.

Vezme-li se síla člověka, který tu pracuje, na 30 lib., tedy $P = 30$ lb., obdržíme $Q = 144 \,.\, P = 144 \,.\, 30$ lb. $= 4320$ lb., tak žeby dvá lidé břemeno 43 centů snadno překonali.

otvorů na obou stranách palci čili zuby opatřen jest. K tomu se upotřebí páky *P*, která ve spůsobě vidlice sloupec s obou stran objímá. Na každé straně vidlice nachází se rameno *DE* a *CF*, z nichž se vždy dvě na téžé straně sloupce kolíkem spojují, kterým se páka za palce sloupce zachycuje. Pružné péro *B* táhne kolíky obou stran k sobě, tak aby samy za zuby zapadávaly. Páka spočívá vždy na jednom kolíku, na *C* aneb na *D*, mezi tím co se druhý o jeden zub výše zvedá. Známým již kývavým pohybováním páky stoupá jeden kolík po druhém a s nimi i v bodu páky *A* zavěšené břemeno *Q* vždy výše. Vidlice páky, jak se samo sebou rozumí, musí býti železná, kdežto se druhá část její *P* ze dřeva zhotoviti může. Co se podmínek rovnováhy týká, třeba jen ramena páky od podpory odměřiti. Jelikož se však páka jednou kolíkem *C*, podruhé kolíkem *D* o zuby sloupce opírá, jest tím i poměr síly k břemenu na tomto stroji vždy dvojí, pocházející jednou z porovnání ramena *FA* s *FP* a po druhé *EA* s *EP*, tedy menší. Tato změna ramen síly, jak již svrchu (59.) zmíněno, jest ke skutečné práci výhodnější.

Musí se připomenouti, že se zmíněné otvory u hasáka obyčejného a švédského aneb zazubení u hasáka francouzského jen tak na zdařbůh vždy jeden otvor mezi dva jiné dělati nemůže, poněvadž by se při otvorech hořejších rameno páky do takové výšky zvedati musilo, žeby k tomu výška člověka nepostačovala. Stroj požaduje tedy především takové zařízení, aby se páka výše zvedati nemusila než kam ruce obyčejného člověka dosahují. Jednoduše se toho docílí, když se páka dříve zhotoví aneb jen dle délky její nějakou latí nahradí, aby se zkusmo vyznačilo, kde každý otvor býti musí, když se páka od země vždy jen do zmíněné výše zvedati má. U hasáka francouzského se tak vyznačuje zaokrouhlené mezizubí pro kolíky. Z toho následuje, že se potom delší páky k hasáku použíti nedá, ačkoli by se k tomu, jak se samo sebou rozumí, kratší použíti mohlo. Uměle se může poloha otvorů těchto následujícím spůsobem ustanoviti. Obraz 100. podává nám obrys stroje. *AB* a *GH* jsou přímé čáry, ve kterých se otvory umístiti mají, a *ST* jest zároveň

Obraz 100.



výška, kterou člověk rukama postihnouti může. Volíme-li bod *E* pro střední kolík, objeví se pro polohu dvou kolíků v druhém pořadí bod *L* a *M*, poněvadž se znázorněná poloha páky *ES* a *ET* s přímkou *GH* v těchto bodech stýká. Vzdálenost bodu *L* od *M* ukazuje vespolnou vzdálenost všech kolíků v tomto pořadí, tak že se nad *L* i pod *M* body v stejné vzdálenosti pro otvory vyznačiti mohou. Znázorníme-li si v bodu *L* podepřenou páku přímkou *CT* a podepřenou v *M* přímkou *DS*, objeví se nám bodem *C* a *D* místa pro otvory v pořadí levém. Vyznačí-li se vzdálenosti *CE* čili *DE* nad *C* a pod *D* v přímce *AB*, obdržíme také polohy všech otvorů v tomto pořadí. Jednoduchý pohled již ukazuje, že vzdálenost otvorů v pořadí levém větší býti musí než vzdálenost otvorů těchto v pořadí pravém, poněvadž *EC* větší jest než *LO* a *DE* větší než *ML*. Z toho následuje, že otvory v levém pořadí, poněvadž větší jsou, rychleji stoupají než v pravém, tak že konečně dva a dva otvory nahoře i dole téměř do vodorovné čáry přicházejí, jako *A* a *G*, *B* a *H*. Nebo je-li na př. *E* právě ve středu mezi *L* a *M*, nachází se již *C* nade středem vzdálenosti *O* od *L*, jest tedy bližší bodu *O* než *L* a t. d.

Vzdálenost těchto otvorů dá se také z podobných trojúhelníků *) vypočísti. Je-li na př. délka páky $ES = 8'$, výška

*) Nejjednodušší podoba, kterou nějaká plocha míti může, jest omezena z tří stran jako *ESTE*, která tři stranice *ES*, *ST* a *TE* a také tři úhly má, jelikož proti každé straně vždy jeden leží. Proto se také nazývá obraz tento *trojúhelník*. Podobným způsobem se dá plocha i čtyrmi a více stranami omeziti, které vždy právě tolik úhlů mají jako stran, z čehož i pojmenování jich *čtyr-*, *pětiúhelník* a t. d. povstává. Poně-

stroje $TS = 6'$ a vzdálenost otvorů $LE = 4''$, jest z $\triangle ELM \sim \triangle EST$ $ML : LE = TS : SE$ čili $ML : 4 = 6 : 8$, z čehož následuje $ML = \frac{4.6}{8} = 3''$. Podobně máme $CE : LM = CT : LT$ čili $CE : 3 = 8 : \left(8 - \frac{4}{12}\right)$, z čehož $CE = \frac{3.8}{7\frac{2}{3}} = 3{\cdot}13''$. Z toho obdržíme rozdíl obou dílků, t. $CE - LM = 3{\cdot}13'' - 3''' = 0{\cdot}13''$. Jelikož výška $ST = 6' = 72''$, obdržíme na levé straně 23 otvory, poněvadž $72'' : 3{\cdot}13'' = 23$, a na pravé straně 24 otvory, protože $72'' : 3'' = 24$ jest, z čehož již vysvítá, že otvory nahoře i dole do téléž vodorovné čáry padnouti musí. Nad E přijde tedy 11 otvorů a právě tolik také pod E. Přidá-li se zmíněný rozdíl ku každému otvoru, obnáší to celkem od E až k A $11{\cdot}5 . 0{\cdot}13'' = 1\frac{1}{2}''$ a hořejší otvor A se setká ve vodorovné AS s hořejším otvorem G. Považíme-li však, že AG menší jest než BI, t. j. že kůlce při páce nahoře sobě blíže stojí než dole, vysvítá, že polookrouhlé vydutiny, jakých

---

vadž se trojúhelník nejsnáze sestrojiti a nejlépe určiti a přehlednouti dá, užívá se ho nejhustěji, tak že se i jiné obrazce na trojúhelníky dělí, aby se i u nich výhod upotřebiti mohlo, kterých trojúhelník svou jednoduchostí počtáři poskytuje. Jedna z nejdůležitějších vět záleží v tom, *že trojúhelníky, které tutéž podobu mají, stejné úhly míti musí*, a naopak: *mají-li stejné úhly, že i tutéž podobu míti musí*, t. j. všecky strany v jednom musí dle téhož poměru větší nebo menší býti, než souhlasné strany v druhém trojúhelníku. Z toho povstanou tři stejné poměry a spojováním jich rovnídkem tři rozličné srovnalosti. Aby se vyznačilo, že trojúhelníky sobě podobny jsou, klade se zvláštní znaménko ($\sim$) mezi ně, které nic jiného není než ležaté začáteční písmeno latinského slova *similis* (podobný). Tak máme $\triangle ELM \sim \triangle EST$, poněvadž LM a ST rovnoběžné jsou a proto se stranící ES a ET stejné úhly tvoří. Podobnost tato obsahuje v sobě $ML : LE = TS : SE$, aneb když se střední členy mezi sebou promění, $ML : TS = LE : SE$, t. j. kolikráte SE větší nebo menší jest než TS, tolikráte musí i LE větší aneb menší býti než ML. Dle druhé srovnalosti musilo by TS tolikráte větší býti než ML, kolikráte SE větší jest než LE. Taktéž bychom měli $EM : ET = ML : TS$ a t. d., což vlastně tím důležité jest, že se vždy na tomto základě z několika známých členů jiné neznámé vypočísti dají.

viděti jest u *a* a *b* (obr. 96.), tak rozšířeny býti musí, aby se pro kůlce v *AG* i v *BI* hodily. V zmíněném příkladu musila by vzdálenost jejich od 4″ až do 5″ dosahovati. Počtem se to dá ovšem určitě ustanoviti.

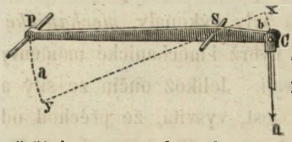
Porovnáme-li tyto tři druhy hasáků, shledáme, že u všech napřed novou podporu nalézti třeba, aby se páka dále pohybovati mohla. Hasák obyčejný a francouzský mají tu vadu do sebe, že se břemeno vždy o něco výše zvednouti musí než to podpora žádá, čili že pracovníci při každém kolíku břemeno zvednou a pak zase o něco na podporu dolů spouštějí, čímž se vykonaná již práce vždy částečně zrušuje. Hasák švédský jest vady této téměř zcela prost *).

62. Ohlédneme-li se po všech praktických příkladech, které se na základě známého zákona páky provésti dají, shledáme, že tu výsledky možny jsou, kterým se obdivovati musíme, a jelikož v poměrech síly a břemena žádných mezí není, pro které by se i skutečná páka mysliti nedala, podobá se, jakoby se pákou *každé* buďsi jakékoli břemeno překonati dalo. Totoť uznával již také onen znamenitý počtář *Archimedes*, který svému příbuznému, králi Syrakusanskému *Hierovi*, žasnoucímu takřka nad divy, které byl vynalezenými stroji prováděl, řekl: *„Dej místa stanouti, a zemi z dráhy vymknu!“* Netřeba ani pochybovati, žeby byl tento důvtipný počtář, který i zákony tíže proskoumával, nemožnost praktického provedení výroku svého neuznával, než dosti na tom, že se theoretická možnost výroku jeho upříti nedá **). A koho by také podivením nenaplnil výsledek počtářský, který ukazuje, že by i síla člověka postačovala, aby hmotnost tak ohromnou, jako jest naše země, z polohy její vyšinouti mohla. Nebo třeba si jen mysliti jednoduchou aneb složenou páku, na které by rameno síly tolikráte větší bylo než rameno břemena, kolikráte hmotnost naší zeměkoule větší jest než síla člověka.

*) Jasně znázorněn a popsán přichází hasák teprv roku 1620. od *Thybourela*.

**) Počet ukazuje, že by i nejsilnější člověk, kdyby páku takovou dnem i nocí s největší rychlostí pohyboval, *více milionů let* potřeboval, aby naší zeměkouli *jen o jediný palec* z dráhy pošinul!

Obraz 101.



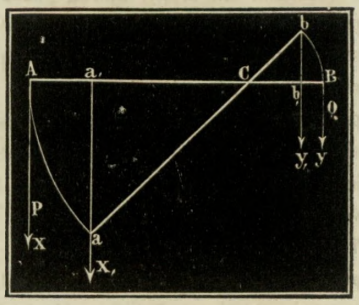
Než uvažme blíže tyto výsledky páky. Rameno páky obrazu 101. SP jest čtyřikrát tak velké jako rameno SC, tedy $SP = 4.SC$. Z toho následuje, že břemeno Q čtyřikrát větší jest než síla, která je ramenem P v rovnováze udržuje. Aby se skutečná práce posouditi mohla, třeba aby se i na druhého činitele jejího, totiž na vykonanou dráhu ohled bral. Přijde-li při skutečné práci působiště síly P do bodu y, jest dráha síly vyznačena obloukem Py. Břemeno, které si v bodu C mysliti můžeme, přišlo právě tou dobou do bodu x, vykonalo tedy obloukem Cx naznačenou dráhu. Jelikož velikost kruhu, tedy i oblouku od poloměru jeho závisí, vysvítá, že oblouk Cx čtyřikrát menší býti musí než oblouk Py, poněvadž rameno SP, které zde poloměrem jest, čtyřikrát tak velké jest jako SC. Z toho následuje, že oblouku čili dráhy, kterou působiště síly a břemena popisuje, právě v takovém poměru přibývá a ubývá, jako ramen, kterými se popisuje, tak že také $P : Q = b : a$ svou platnost má, t. j. *síly stojí v převráceném poměru s dráhami, které při skutečné práci konají.* Jelikož ze zmíněné srovnalosti $P.a = Q.b$ následuje a $P.a$ účinek síly čili její práce a $Q.b$ vykonaná práce jest, vysvítá, že upotřebený účinek síly právě tak velký jest jako velikost na břemeně uskutečněného účinku čili vykonaná práce. Totéž se dá ukázati i u každé jiné páky; uskuteční-li se pákou poměr velký, musí síla vykonávati dráhu velkou, kdežto se břemeno jen zvolna pohybuje. Má-li se na př. *s páčidlem hákovým* (obr. 84.) *jen o jeden* článek řetězu dále postoupiti, musí se vykonati dráha celého oblouku IP. Povšimneme-li si *hasáku švédského*, shledáme, že síla na páce AB celý oblouk vykonati musí, aby se kolík o jeden otvor výše vstrčiti mohl. Toto nepatrné zvýšení ramena O stane se ještě několikráte menší u břemena v E aneb v H. Zvláště nápadné jest to u složených pák vůbec, kde síla mnohdy velké dráhy vykonati musí, než se na břemeně nějaké postoupení pozorovati dá.

Všeobecně z toho tedy následuje, že se na páce vyrovnává práce čili účinek, který se byl silou na stroj přenesl, práci čili

účinku, který silou pohybovaný stroj vykonává. Zvykem se nazývají součiny ze sil a dráhy, kterou byly vykonaly, *mechanické momenty*, tak že se nejen statické, nýbrž i mechanické momenty obou sil na páce vespolek vyrovnávají. Jelikož součin ze síly a dráhy od ní vykonané skutečná práce jest, vysvítá, že přechod od statických momentů čili od podmínek rovnováhy k mechanickým momentům čili k stanovení skutečné práce jednoduchý jest, ano že se oboje momenty vespolek poněkud stýkají.

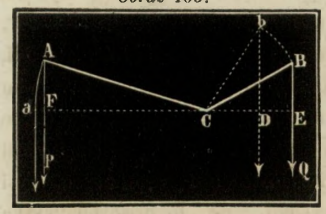
63. V předešlých příkladech jsme předpokládali, že se břemeno kruhem pohybuje, jakoby s pákou bezprostředně spojeno bylo. Často však se přihazuje, že břemeno na šňůrce aneb na tyči visí, jako právě obr. 101. ukazuje, a že dráha, kterou při tom vykonává, přímá čára jest. Visí-li břemeno Q na provaze a působí-li síla P podobným způsobem, aniž by při tom směr měnila, jest patrno, že se břemeno z B do b (obr. 102.) pohne, celkem tedy jen o bb' povýší, kdežto působiště síly z A do a přišlo, celkem tedy se od původní polohy AB jen o aa' vzdálilo. I zde jest dráha bb' tolikráte menší než aa', kolikráte Q větší jest než P, poněvadž $\triangle Ca'a$ a $\triangle Cb'b$ podobné trojúhelníky jsou, tedy aa' tolikráte větší než bb', kolikráte Ca větší jest než Cb. Jinak to však vypadá, když břemeno Q na př. na provaze visí, síla P však bezprostředně na tyč na př. rukou působí. Břemeno koná dráhu bb', síla však oblouk Aa. Jelikož pro tento případ bb' o něco menší jest než oblouk Bb, dá se při ostatně stejných okolnostech touže silou v té míře větší břemeno Q' překonati, poněvadž tu $P : Q' = bb' : Aa$ býti musí. Aa obsahuje totiž v sobě bb' vícekráte než Q velikost síly P, proto jest také $Q' > Q$. Z příkladu toho jest také jasně viděti, že podmínky rovnováhy vždy jen vzhledem na nějakou určitou polohu svou platnost mají a že se s polohou páky

Obraz 102.



zároveň měniti mohou. Visí-li, jak zmíněno, břemeno na páce, jest rameno jeho téměř v každé poloze jiné. V bodu *B* jest ramenem *CB*, v bodu *b* jen *Cb'*. Kdyby se ještě více zvedalo, bylo by ještě menší, až by konečně zcela zmizelo, když by směr jeho *y* podporou *C* procházel *). Totéž se děje u každé přímé páky, když síla svůj směr *y* nemění. Je-li zapotřebí, aby se rameno břemena aneb síly neměnilo, přidělává se na páku v tu stranu pevný oblouk, na který pak síla při skutečné práci na řetězu aneb na provaze účinkuje. Vůbec potřebí, aby síla na rameno páky stále kolmo působila, když se rameno její měniti nemá. Ještě nápadněji mění se rameno sil, upotřebí-li se *páky lomené ACB* (obr. 103.). Pohybuje-li se působiště břemena z *B* do *b* a současně působiště síly z *A* do *a*, přejde rameno břemena z *CE* do *CD*, stane se tedy menší, kdežto se současně rameno síly o *Fa* zvětšilo. V takovýchto nepravidelných případech musí se dráhy silou a břemenem vykonané vždy zvláště vyšetřiti, poněvadž k tomu skutečná ramena páky nepostačují.

Obraz 103.



Ze všeho vysvítá, že vzhledem na rovnováhu žádného rozdílu nestává, zdali břemeno s pákou v jedno splývá, zdali na

*) Počtem se dá věc tato určitěji ustanoviti. Obloukem *Aa* a *Bb* (obr. 102.) jest vykonána jen polovina dráhy jednoho tahu a tím mechanický moment břemena *Q.bb'*; pro celý tah by tedy bylo 2 *Q.bb'*. Je-li $\sphericalangle bCB = \alpha$ a délka ramena $CB = d$, jest $2\,Q.bb' = 2\,Q.d\sin\alpha$ skutečný účinek jednoho tahu. Velikost břemena *q* snadno se tak ustanoví, aby opisujíc dráhu *Bb* tentýž účinek mělo jako skutečné břemeno *Q*, které dráhu *bb'* koná. Jestliť totiž $q.Bb = Q.bb'$ čili $q.d\alpha = Q.d\sin\alpha$, z čehož $q = Q\,\frac{\sin\alpha}{\alpha}$ co velikost břemena s neproměnným ramenem $CB = d$ následuje. Statický moment by pak byl: $Q\,d\,\frac{\sin\alpha}{\alpha}$. Kdyby se pro α nějaké skutečné hodnoty, na př. $\alpha = 20°$, $30°$ a j. vzaly, obdrželi bychom i účinek břemena *Q* na rameně *d* pro tyto zvláštní případy.

ni tlačí aneb na ní visí; pro skutečnou práci však že to jednostejné nebývá, poněvadž se při pohybování ramena sil často mění.

64. Má-li páka upotřebené síle přiměřena býti, není na tom dosti, aby tak dlouhé rameno měla, aby síla svou velikostí na rovnováhu s břemenem vystačila; než druhá potřeba, na kterou se při hotovení strojů ohled bráti musí, jest takové jich zařízení, aby přirozenosti lidského těla aneb jiné upotřebené síle přiměřené bylo. Tak by na př. pro příliš velký oblouk *Py* na obrazu 101. tělo lidské ani nestačilo; ano nemá-li práce tato na př. při pumpování touto pákou nepohodlnou býti, nesmí se žádati, aby člověk rukama větší dráhu vykonával než $2\frac{1}{2}'$ až $3\frac{1}{2}'$, která délce rukou jeho přiměřena jest. Z toho vysvítá, že úhel *PSy* ani větší býti nemůže než navejvýš jen asi 60^0, tedy takový, aby opsaný oblouk jen šestý díl kruhu obnášel, následovně v přímce měřen tak dlouhý byl jako rameno páky. Toho jest i proto potřebí, poněvadž síle těžko v takovém rozsahu stále kolmo na ramena páky působiti. Za tou samou příčinou jest zapotřebí, aby střední poloha držadliště u *P* v přiměřené výši nad podlahou byla, totiž tak vysoko, jak to přirozená výška člověka žádá, tedy asi $3—3\frac{1}{2}'$ vysoko.

Mimo to dělá i směr a spůsob, jakým člověk působiti má, znamenitého rozdílu, nebo každý pracovník sám na sobě nejlépe pozná, že se práce pohodlněji koná, když břemeno dolů táhnouti než když je nahoru zvedati má; že se na př. vůz snáze strká nežli táhne, že se pohodlněji tlačí než zvedá, což všecko zvláštní zařízení stroje požaduje, i když poměr síly a břemena dříve již ustanoven byl a se nijak měniti nedá. To jest příčinou, že se jedno rameno páky často obtěžkává, aby přítěžek tento sám páku nahoru táhnul. Příklad toho máme na obyčejném čerpadle, které jen dolů taháváme, kdežto se nahoru samo táhne. Za tou příčinou se často také i provaz k ramenu páky zavěšuje, aby na něm síla jen dolů působila. Skládá-li se stroj z dvou ramen síly, děje se totéž i na druhém rameně, tak že pak obá dělníci páku střídavě provazem jen dolů pohybují. Ještě nápadněji jest to viděti na okovu, kterým se voda ze studnice na tak zvané *váze* (obr. 77.) zvedá, jak se to jmenovitě zhusta v našich za-

hradách a na pastvinách děje. Konečně se rozumí samo sebou, že stroj tak zařízen býti musí, aby člověk střední svou silou a střední rychlostí na něm pracovati mohl, poněvadž jen tenkráte nejvíce práce vykonati může.

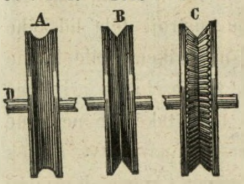
Již dříve podotknuto, jak se velikost práce člověka ustanoviti dá, že se totiž pravidelně rychlost jeho na $2\frac{1}{2}'$ a síla na 25 lb., tedy práce na $62\frac{1}{2}$ librostopy aneb v rovném počtu 60 lp. ceniti může. Jednak ta okolnost, že se práce bez přetržky ani konati nedá, jednak že se mnohé pohybovati musí, co k práci nepřináleží, na př. nádoba na vodu a p., konečně že i otáčení se os a neprostupnost vzduchu překážkou jest, která břemeno zmnožuje, jest příčinou, že práce upotřebenou silou vykonaná daleko větší býti musí než čistý strojem docílený výsledek její jest. Vezme-li se konečně také ohled na to, že na zařízení stroje mnoho záleží, aby práce známému ústroji těla lidského přiměřena byla, a že se člověk teprv delším cvikem stále kolmo na rameno páky působiti naučí, shledáme, že se člověk při tétéž práci jednou více unavuje než podruhé, tedy také že nestejné množství práce koná. Za touto příčinou vykoná tentýž člověk na rozličných strojích rozličné množství práce. Chceme-li určitěji výsledky práce na strojích stanoviti, musíme na každý stroj zvlástě ohled bráti a dle zkušenosti práci stanoviti, kterou obyčejný pracovník na každém vykonati dovede. Tak se na př. zkušeností ukázalo, že obyčejný pracovník 8 hodin denně na páce rychlostí $3\frac{1}{2}$ stopy a silou 9 lb. působí. Účinek za sekundu jest tedy jen $3{\cdot}5.9 = 31{\cdot}5$ librostop, což za celý den $31{\cdot}5.60.60.8 = 907.200$ librostop obnáší *).

*) *Aristoteles* začal se již obírat vysvětlováním zákonů, jimiž se páka v působnosti své řídí. On vysvětloval *váhy kruhem* a přešel z nich na páku, jejíž působnost z podivných vlastností kruhu odvozuje. Tážeť se dle svého spůsobu: „Jak mohou malé síly veliká břemena pomocí páky pohybovati, jelikož se tu mimo břemeno i páka pohybovati musí?“ — „To se děje proto, *praví*, poněvadž se větší poloměr silněji pohybuje než menší.“ Smyslu úlohy této proto nepostihl, poněvadž podstatu její v jiných věcech hledal než kde skutečně jest. Teprv *Archimedes* seznal, že páka za zvláštní úlohu se považovati a

2. KLADKA.

65. Jelikož v předešlém naznačená páka zvedání břemen do vyšších míst nedopouští, ano jen na malé prostory obmezeno jest, i když se podpora její stále zvedá, patrná jest potřeba stroje, který by i této potřebě vyhověti mohl. Obmezíme-li se jen na případ, když se břemeno na provaze zavěšené zvedati má, stává se výpomoc možná tím, že se více ramen kolem pákové osy upevní, aby jedno po druhém vždy nová místa provazu zachycovati a tím břemeno stále výše zvedati mohlo. Jelikož se větší počet ramen těžko k ose upevniti dá, hotoví se k tomuto účeli na ose celistvý kotouč a nabývá i zvláštního jmena za příčinou své zvláštní spůsobilosti, totiž *kladka* (Rolle). Aby s ní provaz dolů nespadával, dělá se na obvodu jejím prohloubená dráha, která se svým zakrouzením buď zcela podobě provazu přiměřuje, jako na obr. 104., buď i někdy zaostřuje (obr. 105.), ano i vrubuje (obr. 106.), když toho potřeba žádá. Poslednější umělé přistrojení dráhy bývá zvláště v takových případech potřebné, když břemeno jen na jedné straně viseti má, jako na př. závaží u našich hodin,

Obr. 104. 105. 106.



---

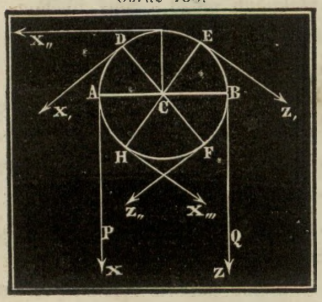
právě proto i s jakousi důkladností vyvinula býti musí, což také i z části důvtipně provedl. On počal s váhama, které v každé misce závaží měly. Jelikož závaží stejná býti musí, když ramena váhy sobě rovna jsou, soudí, že se závaží na jednom rameně páky, která se v podobě přímé čáry zařídí, právě v tom poměru zmenšiti musí, ve kterém se rameno bylo zvětšilo, aby na obou stranách rovnou váhu (*rovnováhu*) udržovala. Po něm jako vůbec povstala i o této věci všeobecná zatemnělost a zmatenost až na novější časy. A právě za příčinou všeobecné zatemnělosti byl Archimed všeobecně obdivován a získal si i zasloužené vážnosti a nesmrtelného jména, jelikož nad mnohá století vysoko vynikal. *Roberval* vyřknul konečně (1636.) větu, že stojí upotřebené síly na páce v převráceném poměru kolmých z podpory na směry sil, čímž se věc teprv řádně objasnila a vyvinutím pojmu rovnováhy vůbec konečně svou všeobecnosti zdokonalila.

O. 107.

aby samo dolů nesjíždělo, než zpovolna strojem pohybovalo. Podpora kladky jest přirozeným spůsobem v ose její *D*, která se zároveň s vidlicí *B* (obr. 107.) hákem *A* k nějakému pevnému celku zavěsiti musí.

Jelikož stroj tento nic jiného není než stále se vracející rovnoramená páka, jejíž podpora se ani měniti nemůže, ustanoví se snadno podmínky rovnováhy jeho. Znázorňuje-li na př. obraz 108. stroj tento v rovnováze, dostačovala by také jen ramena *AC* a *BC* s podporou *C*, na kterých by provazy *x* a *z* zavěšeny byly; všecko ostatní se pro tento případ objevuje co zbytečné. Jelikož obě ramena co tentýž poloměr kruhu sobě rovna jsou, $AC = BC$, musí i obě síly sobě se vespolek rovnati, t. j. $P = Q$ býti. Poněvadž se poměr sil vůbec při rovnováze nemění, pokud se velikost kolmých, které se z podpory páky na směry jejich vedou, nebyla změnila, vysvítá, že se i poměr sil u kladky nemění, ať již upotřebený provaz větší nebo menší část kotouče ovinuje, jelikož všecka na témž kotouči možná ramena, jako *CD*, *CE*, *CF*, *CH* a t. d., poloměru se vyrovnávají.

Obraz 108.



Poněkud jinak to vypadá, když se na osy ohled bráti má, které v rovnováze výslednici rušiti, následovně i tlak na ni působících sil udržovati mají. I zde se opakuje, co již nahoře v tomto ohledu o páce vůbec (47.) řečeno bylo. Působí-li obě síly v témž směru *x* a *z*, vyrovnává se tlak na osu součtu jejich; odtud se stává, jak již nahoře (21. *a.*) vysvětleno, vždy menší, jako ve směru x' a *z*, x'' a z' aneb i v z'' a x''' a t. d., až by ve směru protivném jen tak velký byl jako rozdíl jejich, zde tedy žádný. Z toho následuje, že se v takových případech, kde se směr libovolně bráti může, vždy takový vyvolí, s kterým menší tlak na osu spojen jest. Přidá-li se k tomu ještě váha

kotouče, osy a provazu, obdrží se tlak úplný, ze kterého pravidelně na každou osu polovina připadá.

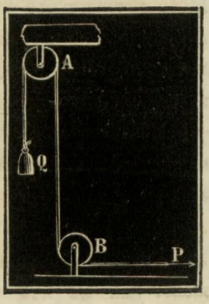
66. Pro rovnováhu na kladce tedy potřebí, aby se síla břemenu vyrovnávala. Utvoření nějakého zvláštního poměru mezi silou a břemenem není za touto příčinou na kladce možno a výhoda její záleží hlavně jen v tom, že se jí směr síly v jistých mezích libovolně měniti, tedy na př. břemeno do vyšších míst vytáhnouti může, aniž bychom tam býti musili. Nebo strojem tímto stává se člověku možno, že buď v x buď jinde dole v x''' a také nahoře v x' a v x'' státi může, když břemeno Q kladkou nahoru táhnouti má. Ano změní-li se tento svislý směr x ve vodorovný x'', může se i jiné síly k témuž účeli upotřebiti, na př. může se kůň k provazu zapřáhnouti, aby břemeno Q z hloubi nahoru táhnul.

Že se za touto příčinou stroje tohoto mnohostranně upotřebiti dá, rozumí se samo sebou. Tak se plachty, stěny, obrazy, kulisy a jiné nahoru vytahují, a zavěsí-li se na druhý konec provazu závaží, které by se jím vyrovnávalo, udržují se pak samy v každé výši. Zvláště důležité jest upotřebení jejich na lodích: kladkou se roztahují plachty, vytahují prapory, nakládá a skládá zboží a nejrozmanitější práce a potřeby konají. Kladkou jest na

Obraz 109.

př. i člověku možno nahoru se zvednouti (obr. 109.), když váha větší části těla na rukou visí, váha pak druhé o něco menší na sedačce spočívá. Nepostačuje-li jedna kladka, aby se žádoucího směru docílilo, může se jich více zároveň upotřebiti, jak to na př. obraz 110. ukazuje, kde by se břemeno Q koněm, který dole k provazu zapřažen jest, aneb podobně upotřebenou silou P po kladce A a B nahoru táhnouti dalo.

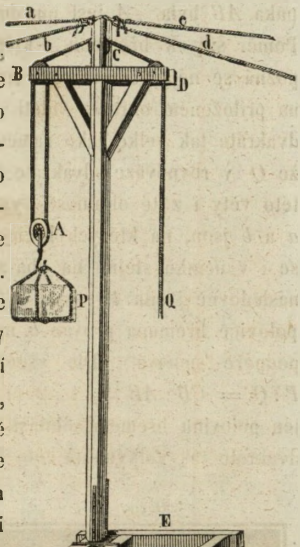
Obraz 110.



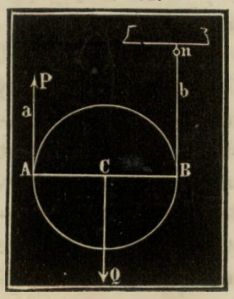
Těchto výhod kladky dá se všudy upotřebiti, kde se k tomu potřebná podpora

nalezá, na kterou se kladka upevniti může. Kdyby se však i v případech, kde takové podpory není, hmoty přece tímto spůsobem do výše zvedati měly, nezbývalo by ničeho jiného, než uměle si podobnou podporu zhotoviti. Jednoduchý spůsob takového zařízení ukazuje nám *kladkový stojan* (obr. 111.), jímž se kladka téměř všudy upotřebiti dá. Dolejší konec stojanu zapustí se buď do země, buď do umělé podlahy *E*, aby se pošinouti nemohl; hořejší se však upevní čtyrmi provazy *a*, *b*, *c*, *d* ke kůlcům, dobře do země zaraženým. Na každém konci kříže *B*, *C*, *D* nacházíse kladka, po kterých se břemeno *P* provazem *Q* zvedati může. Stojan tento zapouští se někdy dole osou do podlahy, aby se v kruhu vždy do žádoucí polohy zatočiti dal. V rovnováze jest na tomto stroji síla vždycky tak velká jako břemeno. Jelikož dráha, kterou u kladky *B*, *C* a *D* síla koná, ve všech případech právě tak velká jest jako dráha, kterou se břemeno pohybuje, poněvadž obě s tímtéž provazem pevně spojeny jsou, vysvítá, že vykonaná práce čili účinek na obou stranách sobě rovný jest, t. j. že mechanický moment síly se vyrovnává mechanickému momentu břemena.

Obraz 111.



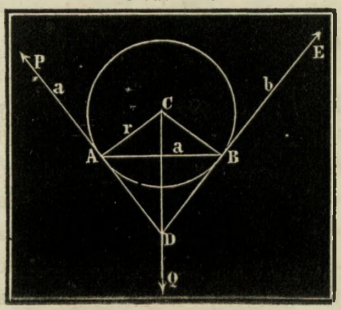
Obraz 112.



67. Změní-li se upotřebení kladky (obr. 112.) v ten spůsob, aby se podpora do bodu *B*, působiště břemena *Q* však do středu kotouče *C* přeneslo, objeví se kladka v zcela jiné podobě. Podpora není v tomto případu jinak možná, leč že se druhý konec provazu k nějakému háku *n* uváže, tak že to v případu rovnováhy tak vypadá,

jakoby tu jen obyčejná v bodu B zavěšená neb jinak podepřená páka AB byla. A jest působiště síly P, C působiště břemena Q. Poměr síly k břemenu, kterého pro rovnováhu potřebí jest, pozná se nejsnadněji, když směry provazů rovnoběžné jsou, jako na přiloženém obraze viděti jest. Jestiť pak rameno síly AB dvakráte tak velké jako rameno břemena CB, z čehož následuje, že Q v rovnováze dvakráte tak velké jest jako P. Pravost této věty i z té okolnosti vysvítá, že tu dva rovnoběžné provazy a a b jsou, na kterých břemeno Q rovnou měrou spočívá, tedy se i v účinku stejně na oba dělí čili půlí. Napnutí provazu a, následovně i síla P rovná se polovině břemena Q, kdežto druhá polovice břemena provaz b napíná a na pevném háku n čili na podpoře spočívá. Dle všeobecného zákona obdrželi bychom $P : Q = CB : AB = 1 : 2$ čili $P = \frac{1}{2}Q$, což znamená, že síla jen polovinu břemena obnáší čili že se každá síla s břemenem dvakráte tak velkým na této kladce v rovnováze udržuje.

Obraz 113.



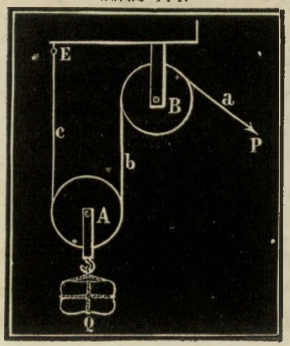
Jinak to vypadá, když provazy rovnoběžné směry nemají. Představíme-li si na př. směry zcela libovolné jako a a b (obr. 113.), můžeme zase s určitostí souditi, že napnutí provazu a právě tak velké bude jako napnutí provazu b. Místo pevného háku n dá se v bodu E mysliti síla, která tentýž účinek má, následovně právě tak velká býti musí jako síla P. Prodloužíme-li směry těchto sil, až se ve společném bodu D setkají, obdržíme známý již případ rovnováhy, kde tři síly na tentýž bod D působí. Zavěšené břemeno Q ruší se výslednicí ostatních dvou sil. Z toho následuje, že podmínky rovnováhy, které tam ustanoveny byly, i zde svou plnou platnost míti musí. Dle hořejšího (24. *) obdržíme pro tuto kladku $P : Q = r : a$, t. j. síla stojí na kladce v takovém poměru k břemenu jako poloměr její r k tetivě provazem opásaného kruhu $AB = a$, čili břemeno Q musí býti vždy

tolikráte větší než síla P, kolikráte tetiva a větší jest než poloměr kladky r. Tak byla tetiva na obr. 112. rovna oblouku $AB = 2r$, a proto musilo pro rovnováhu i $Q = 2P$ býti. Tlak na osu jest ve všech případech tak velký, jako váha na kladce zavěšeného břemena.

Jelikož tetiva, když středem jde, největší možné velikosti nabývá, odtud ale k oběma stranám se vždy menší stává, až konečně v jediném bodu zcela mizí, vysvítá, že se na tomto stroji poměr síly jen v úzkých mezech měniti dá. Břemeno může býti nanejvýše dvakráte tak velké jako upotřebená síla, když provaz půl kruhu opásá. Zvětšuje-li aneb zmenšuje-li se opásaný kruh, stává se tetiva vždy menší, až při šestém dílu kruhu čili 60° aneb i při 300° velikosti poloměru dosahuje a síla tedy břemenu se vyrovnává. Odtud jest tetiva vždy menší a menší než poloměr, následovně i břemeno vždy menší a menší než upotřebená síla. Jelikož se touto kladkou v zmíněných mezích rozličný poměr síly k břemenu uskutečniti dá, což u kladky hořejší (obr. 108.) možno není, dělá se vždy rozdíl mezi nima, a poněvadž se kladka poslednější zároveň s břemenem nahoru a dolů pohybuje, nazývá se *kladkou hybnou*, kdežto kladka obr. 108., upevněna jsouc hákem na př. k nějakému trámci, se nehýbe a proto i *kladkou stálou* čili *nehybnou* slove.

Porovnáme-li spůsobilost obou těchto dvou kladek, shledáme hned, že *kladka nehybná* libovolně směr měniti dopouští, aniž by se tím poměr na ni působících sil jaksi měnil; — *kladka hybná* že však ve zmíněných mezech poměr síly k břemenu stanoví, kdežto s ohledem na směr jen nepatrných výhod poskytuje; nebo má-li na př. člověk touto kladkou břemeno Q (obr. 112.) nahoru táhnouti, musí i sám, totiž síla P, nahoře býti, jak to již z obr. viděti jest.

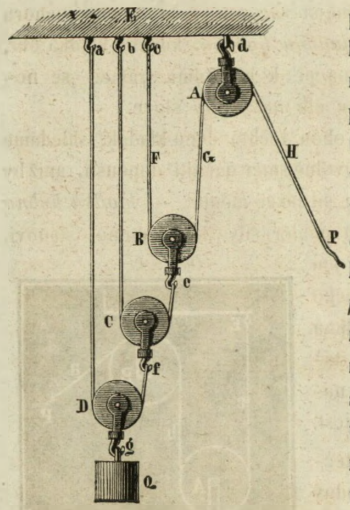
Obraz 114.



68. Kladka hybná uskutečňuje v mnohých případech výhodný poměr síly k břemenu, kladka nehybná dopouští však libovolný směr účinkující síle; což tedy přiroze-

nějšího, než že se obě v jeden celek spojují, aby se výhod obou zároveň použilo. Obraz 114. ukazuje, jak se kladka hybná s nehybnou v celek spojiti dá. Potřebný poměr síly k břemenu, aby se na tomto sestavení kladek rovnováha uskutečnila, vysvítá sám sebou. Jelikož kladka hybná *A* sílu dvakráte menší k tomuto účeli požaduje, kladka nehybná *B* uskutečněný poměr tento však nemění, musí břemeno *Q* dvakráte tak velké býti jako jest upotřebená síla *P*. Pravost věty této i z té okolnosti vysvítá, že břemeno *Q* na dvou rovnoběžných provazech *b* a *c* volně visí, každý tedy polovinou své velikosti napíná, tak že na každý z nich $\frac{1}{2}Q$ připadá, a poněvadž v rovnováze provaz *a* totéž napnutí míti musí jako provaz *b*, jest zároveň i síla $P = \frac{1}{2}Q$. To jest také příčinou, že se i kladky této zhusta užívá, jmenovitě že se s nehybnou kladkou spojuje, jak to již i na *stojanu kladkovém* (obr. 111.) viděti jest, kde se břemeno *P* bezprostředně na hybnou kladku *A* zavěšuje.

Obraz 115.



Jedná-li se ještě o větší poměr síly k břemenu, možná ho docíliti jen kladkami hybnými, tak že se jich za touto příčinou více v jeden celek tak spojuje, jak na obr. 115. viděti jest. Jeden konec provazu zavěšuje se vždy na hák *a*, *b*, *c* k trámci *E*, druhý co břemeno na hák hybné kladky *f*, *e*, čímž se působnost na nejnižší kladce zavěšeného břemena *Q* postoupně na dva stejné díly rozpadává, tedy tolikráte rozpůlí, co se hybných kladek k tomu bylo upotřebilo. Na obraze jest viděti spojení třech hybných kladek *B*, *C*, *D*. Na háku *g* visí břemeno *Q* a působí polovinou své váhy $\frac{1}{2}Q$ na hák *f*, což se opět rozpůlí, tak že u *e* na kladku *B* toliko polovice zmíněného $\frac{1}{2}Q$,

t. j. $^1/_4 Q = \frac{Q}{2^2}$ působí, kteréž na dvou provazech *F* a *G* opět rozpůlcno u velikosti $^1/_8$ Q se také na provaz *H* přenáší. Jelikož na provaze *H* upotřebená síla *P* působí, musí býti pro rovnováhu osmkrát menší než břemeno Q, t. j. $P = {}^1/_8 Q = \frac{Q}{2^3}$. Kdybychom ještě jednu hybnou kladku při tom měli, rozpůlila by tuto povstalou velikost pro rovnováhu potřebné síly, t. $^1/_8 Q$ ještě na $^1/_{16} Q = \frac{Q}{2^4}$ a t. d., z čehož již viděti jest, že mocnitel zcela s počtem kladek souhlasí, tak že by síla pro 5 kladek velikosti $\frac{Q}{2^5}$ a vůbec pro *n* kladek $\frac{Q}{2^n}$ býti musila.

Vynález zmíněného rozkládání sil kladkami připisuje se *Archimedovi*, pročež se i toto sestrojení kladek *Archimedovým kladkostrojem* nazývá. Třeba však na to upozorniti, že se toto půlení břemena jen tenkráte skutečně děje, když provazy rovnoběžně zavěšeny jsou. Ve všech jiných případech zmenšil by se značně poměr síly k břemenu, jelikož, jak nahoře zmíněno, břemeno vždy jen tolikráte větší jest než síla, kolikráte tetiva opásaného kruku větší jest než poloměr kladky *).

Tyto poměry jsou však výsledky prostého rozumování, které by v skutečnosti jen tenkráte plné platnosti míti mohly, kdyby kladky samy a s nimi i provazy žádné váhy neměly. Jelikož provazy i kladky těžké jsou, vysvítá samo sebou, že v skutečnosti pro rovnováhu síla vždy větší býti musí, než ji rozumový výsledek tento požaduje. Proto se ani obyčejné sem náležité školní pokusy uvedeným zákonům přiměřeně provésti nedají, když na okolnosti tyto ohled brán nebyl **).

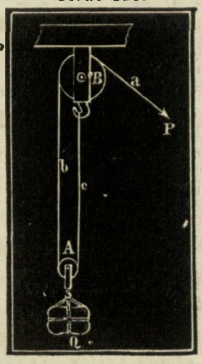
---

*) Všeobecně se vyznačí v tomto případu podmínka rovnováhy, když si pro obecnost věty i kladky rozličných poloměrů $r_1, r_2, r_3, r_4 \ldots$ myslíme, a $a_1, a_2, a_3, a_4 \ldots$ náležité tetivy opásaných kruhů vyznačují, $P : Q = r_1 r_2 r_3 r_4 \ldots : a_1 a_2 a_3 a_4 \ldots$, tedy pro rovnoběžné provazy $P : Q = r_1 r_2 r_3 r_4 \ldots : 2 r_1 . 2 r_2 . 2 r_3 \ldots = 1 : 2.2.2 \ldots = 1 : 2^n$, z čehož i svrchu již uvedené $P = \frac{Q}{2^n}$ povstane.

**) Kdyby se i na váhu hybných kladek ohled bráti měl a váha každé

69. Aby zvláštního trámce *E* (obr. 114.) k upevnění provazu *c* zapotřebí nebylo, zařídil důmysl lidský vidlici nehybné kladky *B* tak, aby se již v ní potřebný hák upevniti mohl aneb aby se v pevný hák ukončovala. Z toho povstal stroj, jaký obraz 116. ukazuje, v tom ohledu výhodnější, že pro upevnění své menšího prostoru požaduje, aniž by se jinak od hořejšího (obr. 114.) v působnosti své lišil. Zavěšování kladkových provazů na trámec jest tím závadnější, čím více kladek se upotřebiti má, jelikož se tentýž počet háků upevniti a právě tolik provazů zároveň upotřebiti musí, jak to i na obraze 115. viděti jest. Co stroj tento pro skutečné upotřebení ještě méně spůsobilý činí, jest hloubka nejnižší kladky *D*, ve které viseti ostává, i když nejvyšší hybná kladka *B* již k nehybné kladce *A* dotažena byla a další dotahování nemožné jest. Z toho vysvítá, že stroj tento v působení svém jen na menší výšky obmezen jest, ačkoli většího a vyššího prostoru požaduje, aby upevněn býti mohl. To jest příčinou, že život praktický takovému spojení kladek, jaké obraz 116. ukazuje, přednost dává.

Obraz 116.



---

jednotlivé kladky písmenem *V* se vyznačila, byla by síla p', která na háku *f* působí, $p' = \frac{1}{2}(Q+V)$ a síla p'' na háku *e* $p'' = \frac{1}{2}(p'+V)$ $= \frac{1}{2}[\frac{1}{2}(Q+V)+V] = \frac{1}{4}Q + \frac{1}{4}V + \frac{1}{2}V = \frac{1}{4}Q + \frac{3}{4}V$.

Napnutí provazu *G* a *H*, následovně i velikost síly *P* jest pak

$$P = \frac{1}{2}(p''+V) = \frac{1}{2}(\frac{1}{4}Q + \frac{3}{4}V + V) = \frac{1}{8}Q + \frac{7}{8}V$$ čili

$$P = \frac{1}{2^3}Q + \frac{2^3-1}{2^3}V = \frac{1}{2^3}[Q + (2^3-1)V],$$

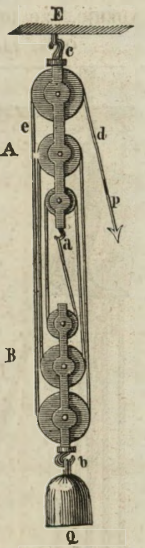
následovně všeobecně, kdyby *n* kladek upotřebeno bylo,

$$P = \frac{1}{2^n}[Q + (2^n-1)V] \text{ aneb } P = \frac{Q-V}{2^n} + V.$$

Jak se na jiném místě ukáže, není ani tato velikost síly k skutečné práci ještě postačitelná. Z předešlého zároveň vysvítá, že *Q* a hák *g* tlakem jest pro osu kladky *D*, p', hák *f* pro osu kladky *C* a p'' a hák *e* pro osu kladky B. Tlak na nehybnou kladku *A* ustanoví se, jak již svrchu (65.) ukázáno.

Aby se i větších poměrů síly k břemenu uskutečnilo, když to potřeba žádá, spojuje se tímto spůsobem i více kladek v jeden celek. Obr. 117. znázorňuje takto zařízený kladkostroj (Flaſchenzug). Hořejší i dolejší část jeho *A* i *B* skládá se z tří vespolek pevně spojených kladek. Výhoda jeho záleží v tom, že zde již jedno upevnění na háku *c* postačuje a že je také jen jednoho provazu potřebí, který na hák *a* zavěšen vždy střídavě se o kladku hořejší a dolejší otáčí, až z kladky nehybné provazem *d* síle *P* do rukou vbíhá. Že se tímto kladkostrojem břemeno v menším prostoru mnohem hloub dolů spustiti a téměř až k háku *a* vytáhnouti dá, již obraz sám ukazuje. K ustanovení podmínek, v jakých na takovém stroji síla *P* s břemenem *Q* v rovnováze stojí, třeba si jen povšimnouti, že břemeno *Q* na šesti provazech visí, které naskrze stejné napnutí míti musí, jestli tu rovnováha býti má. Nebo provaz silněji napnutý táhnul by, otáčeje kladkou, slaběji napnutý za sebou, t. j. rušil by vždy domnělou rovnováhu. Jelikož se vždycky sblíženě všecky provazy tyto za rovnoběžné považovati dají, odpadne z břemena *Q* na každý provaz šestý díl, a poněvadž část provazu v *d*, kde síla působí, totéž napnutí míti musí jako v *e*, vysvítá, že i síla šestý díl břemena obnášeti musí, když na stroji rovnováha býti má; tedy $P = \frac{1}{6}Q$ čili $Q = 6P$.

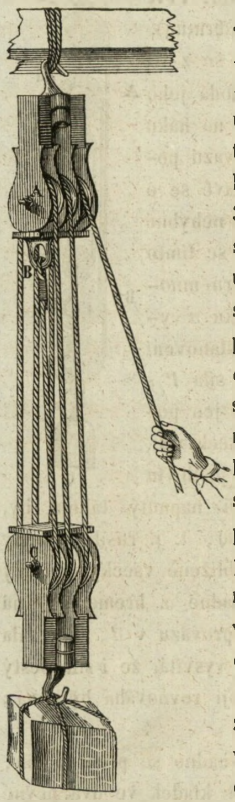
Obraz 117.



70. Jedná-li se i o jiné poměry, snadno se přesvědčíme, že se tímto spůsobem i každý jiný počet kladek ve dva pevné celky jako jest *A* a *B*, *skřipce* (Flaſche) nazvané, spojiti a tímž provazem ovinouti dá. Podmínky rovnováhy ustanovíme, když si povšimneme, na kolika provazech břemeno vždy zavěšeno jest, poněvadž se právě na tolikéž dílů rozpadává, z nichž jeden velikost napnutí poslední části provazu *e* a *d* a následovně i síly k rovnováze potřebné ustanovuje. Sestavíme-li 3, 4, 5, 6 a více kladek v tento stroj, shledáme, že počet břemenem napnutých provazů vždy právě tak velký jest jako počet upotřebe-

ných kladek, z čehož se přehlednější pravidlo pro rovnováhu odvozuje, že totiž i břemeno tolikráte větší bude než síla, kolik kladek celý kladkostroj v sobě obsahuje. Jestiť tedy všeobecně při n kladkách síla $P = {}^1/_n Q$ čili $Q = n.P$ a $n = Q : P$. Jak viděti, povstávají z toho tři rozličné úlohy. Kdyby se na př. břemeno 300 lb. těžké silou 50 lb. ve výši držeti mělo, bylo by k tomu 6 kladek potřebí, jelikož 300 lb. : 50 lb. = 6 jest. Co se spůsobu spojení těchto kladek týká, snadno se ukáže, že při rovném počtu kladek dolejší skřipec jich polovic a hořejší skřipec také polovic obsahovati, a že se provaz na hák a k hořejšímu skřipci zavěsiti musí, aby se kolem všech kladek ovinouti dal. Vezme-li se nerovný počet kladek, obsahuje hořejší skřipec vždy o jednu více, za to se však na dolejší skřipec k zavěšení provazu potřebný hák upevňuje. Aby se provazy volně pohybovaly a o sebe se netřely, dělají se kladky dovnitř skřipce vždy poměrně menší, jako na přiloženém obraze viděti jest.

Obraz 118.



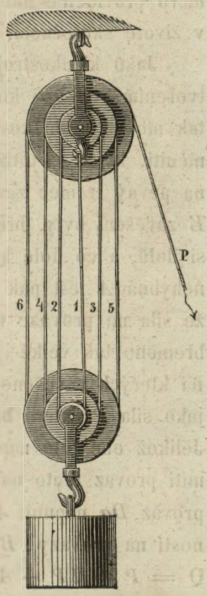
Jiný spůsob kladkostroje, jímž se zmíněných výhod právě tak docílí, záleží v tom, že se kladky ve skřipci na tutéž osu A a C vedle sebe kladou. Zařízení takové (obr. 118.) poskytuje tu výhodu, že se dolejší skřipec a s ním i hmota ještě výše vytáhnouti dá a že se kladek menších, které v upotřebení méně výhodné jsou, užívati nemusí. O upevnění provazu na háku B platí, co nahoře již řečeno bylo; dle počtu kladek přijde hák B buď nahoru aneb dolů. Osa A a C jest při tomto kladkostroji se stěnama skřipce pevně spojena, tedy nehybná, kdežto se při hořejším kladkostroji vždy osa s kotoučem, ku kterému přidělána jest, zároveň pohybuje. Pod-

minky rovnováhy ustanovují se přirozeným způsobem i na tomto stroji počtem kladek aneb počtem napnutých provazů. Že i na tomto stroji rozumový náš výsledek naprosto platiti nemůže, ano že se pravost jeho v skutečnosti na malých modelech nejeví, pochází odtud, že se zavěšené břemeno váhou skřipce a provazů o něco zmnožuje, tedy pro rovnováhu i větší sílu požaduje, než by jí jinak potřebí bylo. Kdyby q váhu skřipce vyznačovalo, bylo by břemeno $Q + q$ velké, tedy vlastně síla $P = \frac{1}{6}(Q+q)$ a $Q = 6P - q$.

Poněvadž kladkostroj *Archimedův*, jak svrchu zmíněno, ke skutečnému upotřebení méně způsobilý jest, užívá se téměř naskrze kladkostrojů se skřipci (obr. 117. a 118.), které se také právě za touto příčinou *kladkostroje obecné* aneb vůbec jen *kladkostroje* nazývají. Na rozdíl slove zařízení poslednější (obr. 118.) *kladkostroj jednoosý*.

71. Že se mimo svrchu uvedené i ještě mnohé jiné způsoby mysliti a provésti mohou, jak se hybné a nehybné kladky k účelům praktického života spojovati dají, vysvítá samo sebou. Obraz 119. ukazuje kladkostroj *White*-ův, dle původce svého tak nazvaný, který se od kladkostroje jednoosého jen tím liší, že se skřipce z nestejných kladek dělají a všecky kladky v jeden kotouč s osou pevně spojí, tak že se pak osa se všemi zároveň v pánvici otáčí. Aby se provaz po žádném kotouči nešoupal, musí se průměr jejich přiměřeně zaříditi. K tomu jest zapotřebí, aby se průměr d nejmenšího kotouče dolejšího skřipce za měřítko vzal a dolejší tři kotouče s průměrem d, $3d$ a $5d$, hořejší však s průměrem $2d$, $4d$ a $6d$ udělaly. Příčina leží v tom, že se provaz současně na všech vinouti má. Kotouč nejmenší s průměrem d skracuje jen provaz *1*, kotouč s průměrem $2d$ musí skracovati současně dva provazy *1* a *2*, aby se

Obraz 119.



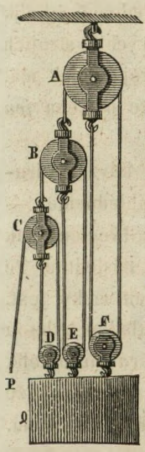
dolejší skřipec v obou částech stejně zvedal, proto musí míti obvod, tedy i průměr dvakráte tak velký. Kotouč $3d$ skracuje současně tři provazy, odtud i průměr jeho $3d$, aby všecky zároveň stejně skracoval a t. d. Největší kotouč hořejšího skřipce s průměrem $6d$ skracuje všech šest provazů právě v té době, ve které kotouč d jeden, kotouč $2d$ dva a t. d. stejně krátí, odtud i průměr jeho $6d$. Co se podmínek rovnováhy týká, objasní se tím, že celé břemeno na šesti provazech visí, které v rovnováze stejně napnuty jsou. Síla bude následovně v rovnováze tolikráte menší než břemeno, na kolik dílů se působnost jeho rozptyluje, poněvadž napnutí provazu u P tak velké býti musí jako provazu 6 aneb kteréhokoli jiného. Že by se místo šesti kladek i každého jiného počtu kotoučů upotřebiti dalo, rozumí se samo sebou. Dílem že při více kotoučích nejmenší příliš malé jsou, tak že se poněkud tlustší provaz kolem nich volně vinouti nedá, dílem že se kotouče těžko dle těchto rozměrů pravidelně hotoviti dají, užívá se jen zřídka stroje tohoto v životě skutečném.

Jako kladkostroj *White*-ův z jednoosého kladkostroje přetvořením velikosti kotoučů a spojením jich v pevný celek povstal, tak možno i kladkostroj *Archimedův* (obr. 115.) na jiný proměniti, když se totiž kladka, na které břemeno visí, hákem g na pevný trámec zavěsí a k provazům a, b, c, které na trámci E zavěšeny byly, břemeno upevní, zkrátka, co nahoře jest když si dolů, a co dole když si nahoru v mysli své přeneseme. Kladka nehybná A jest pak zcela zbytečná, proto se i vynechává, tak že síla na provaze G bezprostředně působí. V rovnováze bude břemeno tak velké jako napnutí všech tří provazů dohromady, na kterých zavěšeno jest. Napnutí provazu F jest tak velké jako síla P, která břemeno na provaze G v rovnováze udržuje. Jelikož obé toto napnutí na provaz e, tedy i na Cb působí, musí míti provaz tento napnutí $2P$. Na f visí $4P$, následovně má i provaz Da napnutí $4P$. Celé břemeno vyznačeno svou působností na provazy Bc, Cb a Da, na kterých visí, jest pak $Q = P + 2P + 4P = 7P$, t. j. v případu tomto sedmkráte větší než síla. Dle návodu tohoto dal by se pro rovnováhu po-

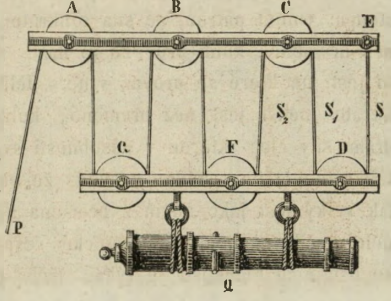
třebný poměr síly k břemenu i při každém jiném počtu kladek snadno ustanoviti. Jelikož to jen převrácený kladkostroj *Archimedův* jest, platí o spůsobilosti jeho všecko, co již nahoře o Archimedově kladkostroji řečeno bylo.

Stroj tento může se ještě tím rozvésti, že se místo jednoduchých háků *a*, *b*, *c*, na které se provazy zavěšovaly aneb břemeno upevňovalo, právě tolik nehybných kladek vezme, z čehož alespoň dle podoby zcela jiný kladkostroj povstává. Zařízení jeho vysvítá dostatečně z přiloženého obrazu 120. Jedná-li se o podmínky rovnováhy, třeba jen napnutí všech provazů ustanoviti, na kterých břemeno Q spočívá. Provazy, které se kolem kladky *D* vinou, musí míti takové napnutí jako jest napínající je síla *P*, tak že břemeno silou $2P$ na této kladce visí. Provaz, který se na kladku *B* navinuje, drží kladku *C*, na kterou $3P$ působí, následovně drží břemeno na kladce *E* silou $2.3P = 6P$. Provaz *A* drží kladku *B*, na které provaz s napnutím $3P$ trojnásobně zavěšen jest, tedy u velikosti $9P$ působí, z čehož následuje, že se břemeno s kladkou *F* dvakráte touto silou nahoru táhne, tedy $2.9P = 18P$. Síla povšechná, která břemeno na kladkách *D*, *E* a *F* v rovnováze udržuje, jest následovně $2P + 6P + 18P = 26P = Q$ čili $P = \frac{Q}{26}$, t. j. síla jest v tomto případu 26krát menší než břemeno.

Obraz 120.



Obraz 121.



Jiné podobné zařízení kladkostroje viděti jest na obr. 121., které v podstatě své nic jiného není než obecný již nahoře vysvětlený kladkostroj, s tím toliko rozdílem, že zde skřipce vodorovně leží. Skřipec ho-

řejší jest k nějaké stěně upevněn, dolejší může se však s břemenem volně pohybovati. Provaz, jak již nahoře řečeno, upevn se v jednom konci *E* skřipce hořejšího aneb dolejšího, jak to počet kladek žádá, a vede se odtud kolem kladky *D*, *C*, *F*, *B*, *G* a *A*. Jelikož se zde jen jeden provaz kolem všech kladek vine, vysvítá, že i ve všech částech stejné napnutí míti musí, tak že $S = S_1 = S_2 = \ldots$ jest. Poměr síly *P* k břemenu Q v rovnováze vysvítá již z věci sám sebou; nebo břemeno se zde rozpadává na tolik dílů, kolik tu provazů, následovně i kolik tu kladek jest. Odtud patrno, že síla na takovýchto strojích v rovnováze tolikátý díl břemena obnáší, kolik stroj kladek má, tedy jako u obecného kladkostroje. Z toho jde, že potřeba *jen podobu* obecného kladkostroje takto přetvořila.

72. Z rovnováhy přejdeme snadno na práci, když i k druhému činiteli jejímu, totiž k vykonané dráze přihlédneme. — Vezme-li se kladka nehybná, vysvítá patrně, že břemeno tak velkou dráhu koná, jako upotřebená síla, z čehož následuje, že i skutečný účinek čili mechanický moment síly tak velký jest, jako mechanický moment břemena. Pozorujeme-li kladku hybnou (obr. 112.), shledáme, že se provaz v *a* i v *b* zároveň o tolik zkrátiti musí, oč břemeno Q do výšky postupuje, následovně že síla dvakráte dráhu tuto vykonati musí, kterou břemeno koná. Jelikož ale síla v tomto případu dvakráte menší jest, vyrovnává se zase účinek čili mechanický moment síly momentu břemena. Přejdeme-li na obecný kladkostroj, buďsi on v podobě jakékoli, shledáme hned na první pohled, že se současně všecky provazy o tolik skracují, oč břemeno při skutečném pohybování do výše stoupá. Odtud patrno, že síla tolikráte větší dráhu vykonati musí než břemeno, kolik provazů je drží, následovně i kolik kladek tu jest, na které se provaz vine. Jelikož síla v rovnováze tolikráte menší jest než břemeno, kolik kladek stroj obsahuje, dráha síly ale, kterou v působnosti své vykonává, zase právě tolikráte větší se stává, vysvítá, že součin z dráhy a síly právě tak velký jest jako součin z břemena a dráhy jeho, že tedy i zde účinky čili momenty mechanické vespolek se vyrovnávají. Co se ostatních kladkostrojů týká, třeba jen opatrně sledovati po-

hybování jejich v skutečné práci, aby se i tam pravost této věty náležitě objasnila.

Takové pozorování kladkostrojů dostatečně dokazuje, že se stroji těmito práce nepřimnoží, že stroj vždy jen tak velkou práci uskutečňuje, jakou byla síla na něm vykonala. Výhoda strojů těchto záleží následovně v tom, že se jimi směr síly měnili a práce čili mechanický moment břemena na jiné zcela libovolné, tedy síle naší i přiměřené dva činitele rozkládati dá. Upotřebí-li člověk kladkostrojů, může tedy práci svou tak zařídíti, aby za sekundu jen 60 librostop konal, i kdyby břemeno mnohokráte sílu naší přesahovalo. Jinak to poskytuje mnohdy i tím zvláštních výhod, že se velikost dráhy potřebám přiměřiti dá. Tak se na př. zavěšuje na hybné kladce k hodinám závaží dvakráte tak velké než by potřeba bylo, aby to dvakráte tak dlouho trvalo než poskytovaný mu prostor proběhne, tedy aby i stroj nepřetržitě dvakráte tak dlouhý čas v chodu setrval.

Jelikož se s břemenem i skřipec čili kladky vůbec nahoru táhnouti a zase i dolů pouštěti musí, jest patrno, že se tím účinek síly částečně ruší. Lépe to vypadá s provazem, který se také nahoru táhnouti musí, poněvadž pak zase dolů padá a tak jednou sílu ruší, podruhé jí zase přimnožuje. Považíme-li, že mimo to při skutečné práci i ještě jiných překážek stává, pochopíme, že velikost pro rovnováhu potřebné síly ke skutečné práci nikdy nestačí. Zkušenost učí, že se tím více síly přidati musí, čím více kladek kladkostroj má, tak že to dle okolností 40, 50, 60 % ano i ještě více obnášívá. Vypočtlo-li se návodem hořejším, že rovnováha sílu u velikosti P žádá, jest tedy pro skutečnou práci potřebí $(P + {}^2/_5 P) \ldots . (P + {}^3/_5 P)$ i více. Ustanoví-li se celistvě ku práci potřebná síla tato P' břemenem Q, musilo by vůbec $P' = \frac{Q}{n} + \frac{Q}{m}$ býti, když by $\frac{Q}{m}$ tento přídavek vyznačovalo *).

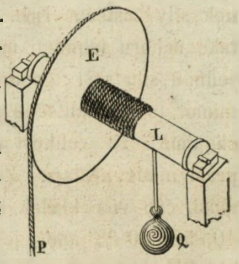
*) Již *Aristoteles* mluví o kladce a kladkostroji. *Archimed* vynalezl kladkostroj multiplikovaný, který se za tou příčinou i Archimedův kladkostroj nazývá. Nepochybně byl *Archimed* také první, který vynalezl

3. KOLO NA HŘÍDELI.

73. Ačkoli obyčejná páka a kladka rozsáhlé upotřebení zákonů *páky* vůbec jasně ukazuje, nicméně objevuje se výhodnost jejich v pravém světle teprv *kolem na hřídeli*, které uměl-ým spůsobem výhody páky i kladky v sobě spojuje. Jednak docela libovolné poměry sil, které se na stroji tomto uskutečniti dají, jednak pohybování téměř v každém směru, které na něm možné jest, činí stroj tento *nejdůležitějším a nejpotřebnějším v praktickém strojnictví.*

Máme-li kladku dosti širokou, není více zapotřebí dělati do ní dutou dráhu, aby provaz s ní nespadával; ona může zůstati všude stejná a proměňuje se tímto spůsobem ve válec, který na obou svých koncích jako kladka na dvou osách spočívá. Představíme-li si jen poněkud takovýto válec, snadno uznáme, žeby se ho jako nehybné kladky upotřebiti dalo, ano že tu vlastně ve věci ani žádného rozdílu nestává, leč ve formě její, kterou se nám v rozličných případech objevuje. Aby se tu i výhod páky zároveň použilo, již se každý libovolný poměr síly uskutečniti dá, možno i na válec č. hřídel tento *L* (obr. 122.) přidělati přiměřený kotouč, kladku aneb kolo *E*, na kterém síla *P* známým již spůsobem účinkovati může. Má-li se stroj tento také pohybovati, upotřebí se dvou provazů, z nichž se konec jednoho k hřídeli *L*, konec druhého však ke kotouči *E* upevní a jeden k druhému v protivném směru navine, jak na přiloženém obraze viděti jest.

Obraz 122.



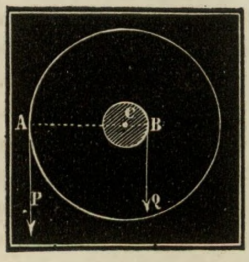
74. Podmínky rovnováhy dají se na tomto stroji snadno

---

hybnou kladku, jelikož se o ní u *Aristotela* ještě ničeho nenalezá. *Marquis Quido Ubaldi* (1577.) pokusil se o vysvětlení působnosti kladek, jež rozličně skládal a takové jich spojení obezřele zkoušel. On také již poznal pravost rovnosti momentů mechanických na hybné kladce, tak že tím již i kladkostroje vůbec vysvětleny byly.

ustanoviti, poněvadž to jen zvláštní spůsob páky jest. Představíme-li si stroj v takové poloze, abychom se kolmo na plochu kola *E* dívali, t. j. na průmět jeho svisný, objeví se nám hřídel co malý prořízntutý kruh (obraz 123.) s poloměrem *CB*, a kolo co velký kruh s poloměrem *CA*. Již z prvního pohledu shledáme, žeby pro rovnováhu jen páky *AB*, která v bodu *C* svou podporu má, potřebí bylo. Musilať by pro tento případ síla *P*, která na páce *CA* působí, tolikráte menší býti než břemeno Q, které na páce *CB* zavěšeno jest, kolikráte rameno síly *CA* větší jest než rameno břemena *CB*, aby totiž $P : Q = CB : CA$ čili $P.CA = Q.CB$ bylo.

Obraz 123.



Rozumí se však samo sebou, žeby také síla v *B* působiti a břemeno v *A* na provaze zavěšeno býti mohlo, když by toho potřeba žádala. Zařízením takovýmto se zákony rovnováhy neruší, když se poměrná velikost sil tak zamění, jak se ramena jejich byla vyměnila. Připomenouti však sluší, že se jak k poloměru $CA = R$, tak i k poloměru $CB = r$ polovice tloušťky provazu připočísti musí, když se poměr tento určitěji ustanoviti má. Je-li r' poloměr provazu, bude $R+r'$ rameno síly a $r+r'$ rameno břemena, tedy v skutečnosti v rovnováze

$$P : Q = (r+r') : (R+r') \text{ čili } P.(R+r') = Q.(r+r').$$

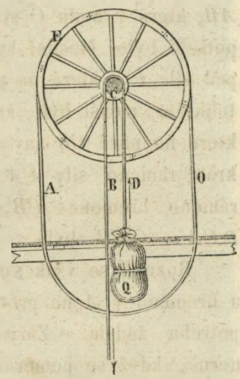
Z toho následuje, že se na hotovém stroji porovnáním poloměru hřídele *L* a poloměru kola *E* poměr síly k břemenu snadno ustanoví; a opáčně že se stroj vždycky v takových rozměrech zhotoviti dá, aby se jakýkoli žádoucí poměr síly k břemenu na něm uskutečnil, při čemž se i na tloušťku provazu ohled bráti může.

Co se tlaku na osy týká, platí zde všecko, co svrchu (65.) o nehybné kladce řečeno bylo. Rozdíl jest jen v tom, že u kladky na každou osu polovina tlaku připadá, což se u hřídele neděje, jelikož kolo *E* ve středu upevněno nebývá a břemeno Q působiště své *B* na hřídeli měnívá. Má-li se ustanoviti, mnoho-li na každou osu zvláště připadá, třeba jen váhu břemena, váhu

kola s provazem a váhu hřídele dle svrchu (28.) uvedených zákonů přiměřeně rozděliti, jako se to i s váhou soudku na obraze 37. dělo. Kdyby všecky síly tyto rovnoběžně nepůsobily, byla by výslednice ze složek jejich na osách hřídele menší než součet těchto složek, a dala by se dle svrchu zmíněného (22.) i zcela určitě ustanoviti.

75. Příklad skutečného upotřebení takového kola na hřídeli ukazuje nám *zdvihací kolo* obr. 124. Kotouč č. kolo *E* dá se otáčeti provazem bez konce *AO*, t. j. takovým, jehož oba konce v jeden celek spojeny jsou. Otáčí-li se kolo *E*, pohybuje se i pevně s ním spojený hřídel *C*, kolem něhož se provaz *BD* několikráte vine, tak že se jednou stranou, na př. *D* navinuje, druhou však *B* roztáčí. Břemeno *Q* zvedá se tedy provazem *D* nahoru, mezi tím co druhý konec jeho *B* dolů padá, aby se jiné břemeno na něj zavěsiti a tažením provazu v *O* zase nahoru vytáhnouti mohlo. Vůbec již z obrazu patrno, že se střídavě v *A* a *O* působí a tak potahmo provazem *D* a *B* břemeno *Q* nahoru zvedá aneb i dolů pouští. Vyznačí-li se síla písmenem *P*, poloměr kola písmenem *R* a poloměr hřídele písmenem *r*, jest pro rovnováhu potřebí, aby $P : Q = r : R$ bylo. Dle srovnalosti této může se poměr síly na každém hotovém stroji ustanoviti, když se na něm *R* a *r* změřiti dá, a naopak se tím ustanovuje velikost kola a hřídele, aby se pro dané břemeno *Q* nějaké určité síly upotřebiti mohlo. Jestiť totiž dle hořejšího $\frac{P}{Q} = \frac{r}{R}$, $P = \frac{r}{R}Q$, $R = \frac{Q}{P}r$ čili určitěji $\frac{P}{Q} = \frac{r+r'}{R+r'}$ a t. d.

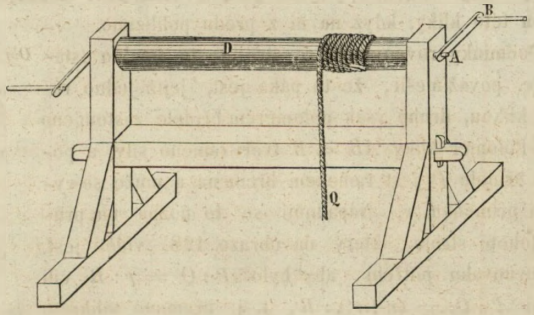
Obraz 124.



Kdyby na př. člověk svou obyčejnou silou 25 lib. pytle 2 centy těžké v rovnováze držeti měl, musil by poloměr kola *R* osmkrát tak velký býti jako poloměr hřídele, jelikož síla právě tolikráte menší jest než břemeno. Poloměr hřídele může se libovolně ustanoviti, musí však vždy alespoň tak silný býti, aby

zmíněné břemeno snésti mohl. Avšak dílem nepohodlí v skutečném výkonu, dílem i menší spůsobilost takto zařízeného stroje jsou příčinou, že se pro obyčejnou práci k hřídeli raději páka přidělává buď v podobě známé kliky, buď v jakémkoli jiném spůsobu. Jelikož síla na klice bezprostředně působí, stává se tím stroj tento téměř nejspůsobilejším k upotřebení lidské síly v rozličných výkonech života praktického. Odtud také povstaly rozličné podoby a spůsoby tohoto stroje, známé pode jmenem *rumpálů*, *vratidel* a p., jimiž se voda váží, uhlí a j. z dolů nahoru tahá, těžká břemena na vyšší místa zvedají a jiná rozmanitá práce koná.

Obraz 125.

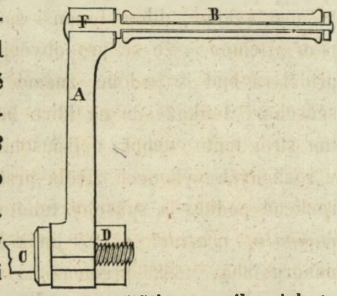


76. Nejobyčejnější podobu stroje tohoto ukazuje nám obr. 125. Jestit to *rumpál obecný* (Hornhaspel), kterého se jmenovitě tenkráte užívá, když člověk bez přestávky po delší čas působiti má. Do pevného podstavce se zadělá hřídel *D*, na který se provaz, na němž břemeno *Q* zavěšeno jest, natáčí. Osy povstanou ztenčením hřídele na obou koncích aneb, což u hřídelů dřevěných výhodnější jest, zapuštěním vykroužených železných tyčí do středu jejich. K této ose se buď přidělá obyčejná dřevěná klika *AB*, aneb se železná osa na konci tak zahne, aby se jí zároveň i co kliky k otáčení hřídele upotřebiti dalo.

K strojům dokonalejším, na kterých se práce po delší čas konati má, přidělává se *klika* (Kurbel) zvláštního spůsobu, jak na obraze 126. viděti jest, který nám průřez takové kliky představuje. Osa *C* ukončuje se v hranolu se šroubem, tak že se

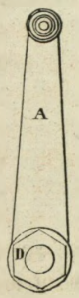
rameno kliky *A* na hranol nasaditi a maticí *D* k ose přitáhnouti může. Do ramena *A* jest pevně zapuštěno železné držadliště *F*, na které se přiměřený dřevěný dutý válec *B* nastrkuje, tak aby se, když toho třeba, na něm otáčeti mohl. Slouží válec tento k tomu, aby jej ruka, když se ho v práci

Obraz 126.



byla uchytila, každé okamžení zase vypouštěti nemusila, jak to u nehybného držadliště potřebí jest. Obraz 127. ukazuje nám podobu této kliky, když na ni z předu pohlížíme.

Podmínky rovnováhy pro stroj tento snadno usta- *Obr. 127.*

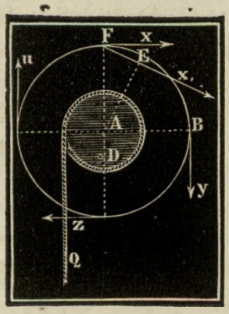


novíme, považíme-li, že to páka jest, jejíž jedno rameno klikou, druhé však poloměrem hřídele zastoupeno jest. Poloměr kliky $AB = R$ tvoří rameno síly, a poloměr hřídele *D* jest ramenem břemena a může se vyznačiti písmenem *r*. Nápadněji se to pozná na průřezu tohoto stroje, který na obraze 128. viděti jest. Pro rovnováhu potřebí, aby bylo $P : Q = r : R$ čili určitěji $P : Q = (r+r') : R$, t. j. břemeno tolikráte větší než síla, kolikráte rameno síly *R* větší jest než rameno břemena *r*. Máme-li stroj před sebou, třeba jen změřiti a porovnati poloměry tyto, a podmínky rovnováhy jsou tím již ustanoveny. Jedná-li se o zařízení stroje, záleží to alespoň v jistých mezích na nás, jaký poměr síly na něm uskutečniti chceme. Z předešlého vysvítá, že se klika tím delší dělati musí, čím se větší poměr síly k břemenu strojem uskutečniti má. Než ústrojí těla lidského nepřipouští, aby se klika libovolně zvětšovala; nebo má-li se práce výhodně konati, musí býti délka kliky tělu lidskému přiměřená, nesmí býti tedy ani příliš krátká ani příliš dlouhá. Zkušenost učí, že délka od 12″ až do 18″, tedy asi 15″, nejlépe vyhovuje, když se na ose upevní, která ve výšce střední délky těla lidského podepřena jest, tedy asi 38—40″ vysoko nad podlahou. Aby se více sil

zároveň zaměstnati mohlo, přidělává se k druhému konci osy ještě jedna klika, jak na obraze 125. viděti jest, obyčejně však v protivném směru, aby se práce stejněji konala. Mnohem větší vůli máme při zařizování hřídele, který se téměř ve všech poměrech provésti dá. Zhotoví-li se z pevného kovu, možno jej značně tenkým udělati, aniž by se příliš slabým stal; je-li ze dřeva, musí míti ovšem průměr větší. Kdyby břemeno, které překonati jest, jen velmi malé bylo, může se průměr jeho poměrně zvětšiti, tak že pak konečně v buben se proměňuje, na který se taková břemena natáčejí. Z toho vysvítá, že se rameno síly jen v nepatrných mezech měniti může, kdežto se rameno břemena značně zmenšiti a téměř libovolně zvětšiti dá. Vůbec může se každá ze čtyr veličin srovnalosti $P : Q = r : R$ ustanoviti, když ostatní tři dány jsou, aby se rovnováze vyhovělo.

Jelikož při otáčení hřídele na tomto stroji potřebí jest, aby člověk dle polohy kliky (obr. 128.) buď táhnul jako směrem z, buď zvedal směrem u, buď tlačil směrem x a t. d., což, jak známo, ústrojí těla lidského stejně přiměřené není, vysvítá, že člověk ve všech těchto rozličných polohách kliky se stejným výsledkem nepracuje. Ještě nápadněji se to objeví, považíme-li, že člověk ve všech tak rozmanitých polohách stále na kliku tečně ke kruhu, jakož to směry x, y, z ukazují, ani působiti nemůže. Objeví se totiž za touto příčinou při skutečné práci rozličné od těchto více méně se odchylující směry působících sil, čímž se poloměr čili rameno jejich skracuje. Tak na př. přechází směr x s přináležejícím mu ramenem AF do směru x', ve kterém již síla na rameně menším AE působí, tedy i poměr síly k břemenu jiný jest. Odchylka tato mohla by ještě větší býti, až by konečně směr upotřebené síly osou A procházel a následovně se zcela rušil.

Obraz 128.

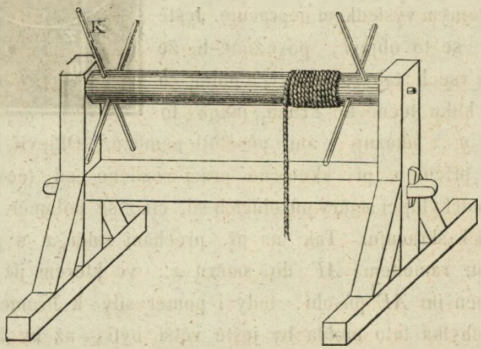


Při pohybování kliky v kruhu jest za touto příčinou dělníkovi ovšem nemožno, aby ve všech polohách stejným úsilím pů-

sobil, za to však nabývá zase té výhody, že při tom váha těla jeho v klidu jest a on tak celou silou kliku otáčeti může. Tím se vysvětluje, proč se při zvedání břemen do vyšších mist, na př. při stavbách, stroje tohoto s lepším prospěchem užívá, než kdyby se stavivo po lešení na kolcích do vyšších pater vozilo. Aby se nakládáním a skládáním čas nemařil, navinují se na hřídel obyčejně dva kbeliky v protivném směru, aby se vždy jeden zvedal, mezitím co se druhý dolů pouští. Tlak na osy jest při tomto stroji proměnný, poněvadž klika při práci rozličné polohy a tím i síla rozličné směry má. On přechází z $Q+P$, když y směr kliky jest, až na $Q-P$, když síla směrem u působí. Nepůsobí-li síla tečně ke kruhu, zmnoží se ještě tento tlak, jehož velikost se ostatně přiměřeným rozkladem upotřebené síly snadno ustanoviti dá.

77. Malá délka kliky, kterou se jen malý poměr síly k břemenu uskutečniti dá, jest příčinou, že se v některých případech do hřídele místo kliky tyče zadělávají. Takovýmto zařízením dá se mimo zmíněný větší poměr síly i té výhody docíliti, že totiž člověk na tyči buď jen tlačiti, buď jen táhnouti aneb i střídavě obojím způsobem pracovati může. Obraz 129. ukazuje

Obraz 129.

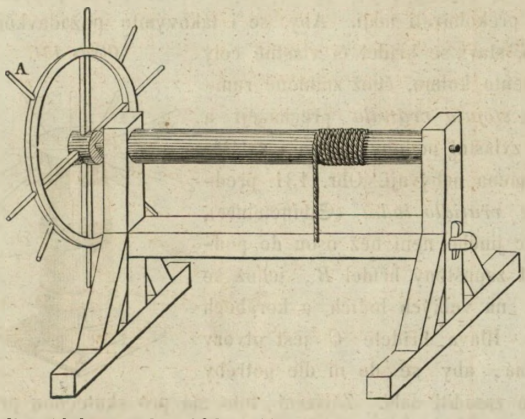


takový *rumpál křížový* (Kreuzhaspel), na kterém tyč K co rameno síly i značně větší býti může než 15″. Avšak ani tyče tyto nemohou se příliš dlouhé dělati, poněvadž by se jich větší počet do hřídele zapustiti musil, aby člověk pohodlně s jedné

na druhou dosahovati mohl, což se v skutečnosti provésti nedá. Zapuštěním více tyčí v jedné ploše rozvrtal by se hřídel a ztratil tím žádoucí pevnost svou. Kdyby se však tyče vedle sebe zapouštěly, stala by se zase tato rozličná poloha jejich nepohodlnou pro ruce pracovníka. Ostatně jako dvě kliky dají se i tato ramena z obou konců do hřídele zapustiti, jak na obraze viděti jest, aby současně dvá dělníci pracovati mohli. V čas potřeby mohou se při stroji současně i čtyři zaměstnávati, jelikož se ramena na jedné straně dolů, na druhé nahoru táhnouti dají. Podmínky rovnováhy jsou zde tytéž jako u stroje předešlého, poněvadž délka tyče *K* místo kliky rameno síly zastupuje. Rozumí se však samo sebou, že nikoli celá délka tyče, nýbrž že jen ona část její ramenem síly jest, která od místa, kde se jí dělník při práci rukou v kolmém směru uchopuje, až do osy hřídele sáhá.

Je-li však ještě delších ramen pro sílu potřebí, uskutečňuje se to *kolem šprlatným* (Spillenrad), které se na konec osy

Obraz 130.



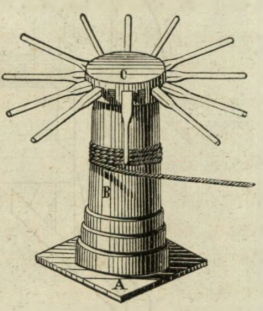
k hřídeli přidělává (obr. 130.). Aby se rukama pohodlně otáčeti dalo, zapouští se do věnce jeho potřebný počet kůlců *A* co držadlišť v přiměřené vzdálenosti. Že se i na druhém konci ještě pro jednoho pracovníka kolo udělati dá a že se v čas potřeby na obou stranách kola dělník v práci zúčastniti může

rozumí se samo sebou. Někdy se zapouštějí tato šprlata tak do věnce, že s hřídelem směr rovnoběžný mají, že tedy kolmo na ploše věnce stojí. Udělají-li se dosti dlouhá, může na nich i větší počet dělníků současně vedle sebe pracovati. Poměr síly k břemenu se jako vůbec i zde ustanoví, když se velikost poloměrů čili ramen síly a břemena porovná, jakož se i naopak ramena tato dle určitých měr zhotovují, aby se žádoucího poměru docílilo.

Jelikož do hřídele zapuštěné tyče a šprlata jen na krátko síle přiměřenou polohu poskytují, tak že ruka naše střídavě v krátkých lhůtách působiti počíná a přestává, ukázaly se stroje tyto s ohledem na vykonávání skutečné práce méně výhodné býti než obyčejný rumpál. Odtud to pochodí, že jich v životě praktickém také zřídka viděti jest, jen tam totiž, kde se na krátko větší poměr síly uskutečniti má.

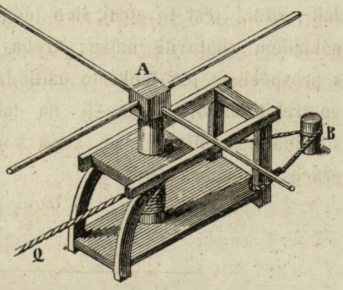
78. Zmíněné stroje slouží hlavně k tomu, aby se jimi hmoty z hloubi do výše zvedaly; než stává také mnohých případů, kde se břemena i ve směru vodorovném pohybovati a vůbec překonávati mají. Aby se i takovýmto požadavkům vyhovělo, staví se hřídel či vlastně celý stroj tento kolmo, čímž zmíněné rumpály v *stojatá vratidla* přecházejí a odtud zvláštní podoby a tím i zvláštního jmena nabývají. Obr. 131. představuje *vratidlo lodní* (Schiffswinde), což nic jiného není než osou do podlahy *A* zapuštěný hřídel *B*, jehož se zhusta na velkých lodích a korábech užívá. Hlava hřídele *C* jest otvory opatřená, aby se do ní dle potřeby ramena zasaditi dala. Zařízení toto má pro skutečnou práci tu výhodu, že člověk pohodlněji pracuje, když tato ramena v přiměřené výši do hřídele zapuštěna jsou, aby se rukama o ně opírati mohl. Mimo to poskytuje stroj tento i příležitost, aby se v práci tolik pracovníků zúčastniti mohlo, co se jich zapotřebí býti vidí, pokud to totiž vzdálenost dvou vedlejších ramen do-

Obraz 131.



pouští. Porovnáním poloměru hřídele *B* s délkou ramen síly ukáže se velikost břemena, které se na provaze s upotřebenou silou v rovnováze udržovati dá.

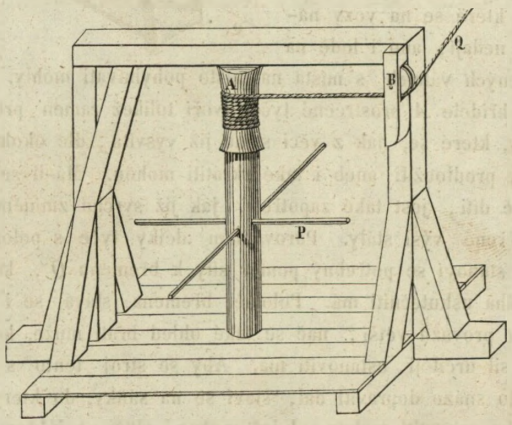
Obraz 132.



K podobným účelům slouží i známé *vratidlo obecné* (loutko, Erdwinde, obraz 132.), které se obyčejně k dobře v zemi upevněnému kůlu *B* a k podobným pevným předmětům přivazuje, aby se jím velká břemena, na př. kamené balvany, které se na vozy nakládati nedají, ano i lodě na podložených válcích s místa na místo pohybovati mohly. Čtyři hlavou hřídele *A* prostrčené tyče tvoří tolikéž ramen pro pracovníky, které se, jak z věci samé již vysvítá, dle okolnosti a potřeby prodloužiti aneb i také skrátiti mohou. Má-li se práce výhodně díti, jest také zapotřebí, jak již svrchu zmíněno, aby v přiměřené výši stály. Porovnáním délky tyče s poloměrem hřídele stanoví se potřebný poměr síly k břemenu *Q*, když se rovnováha uskutečniti má. Poloměr břemena stává se i zde o poloměr provazu větší, nač se také ohled bráti může, když se poměr sil určitěji ustanoviti má. Aby se stroj tento s místa na místo snáze dopraviti dal, staví se na sáňky, do kterých se i kolečka zapustiti mohou. Když možno, vloží se i břemeno na takové sáňky, aby se na nich jako na voze pohybovati aneb válce pod ně snáze klásti daly. Má-li břemeno větší dráhu konati, nedopouští to krátký hřídel stroje, protože se delší provaz na něj navinouti nedá. Tato okolnost žádá, aby se jen v přestávkách pracovalo. Provaz se vždy z hřídele odvine, aby se zase na novo navinovati mohl. Pohodlněji se to děje, když se provaz k hřídeli neupevní, než jen tři- neb čtyrykrát na něj navine, aby se tření tak zmnožilo, by se po hřídeli neposouval. Volný konec stále se odvinujícího provazu slouží za působiště jednomu dělníkovi, tak že se pak u hřídele nehromadí a práci nepřekáží. Dojdou-li tyto tři ovitky až k nejvyšší části

hřídele, pozastaví se práce a provaz se pustí dolů, aby se poznovu natáčeti mohl. Má-li se poměr síly ještě více zvýšiti, upotřebí se také kladek k tomu. U velkých břemen upotřebuje se dvou vratidel zároveň, na každé straně břemena jednoho. — Jak viděti, jest to stroj sice jednoduchý, který se s nepatrným nákladem zhotoviti může; třeba však připomenouti, že se ho s prospěchem jen tenkráte užíti dá, když se k práci síly lidské upotřebiti *musí*. Možno-li na takové velké břemeno bezprostředně působiti, na př. koně k němu zapřáhnouti, vykoná se práce mnohem výhodněji.

Obraz 133.



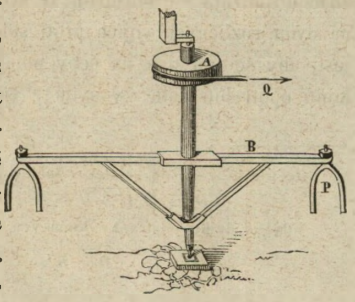
Ještě výhodnější jest toto stojaté vratidlo v podobě známého *stožáru* (Tummelbaum, obraz 133.), kterého se hlavně k zvedání těžkých věcí na vysoká místa upotřebuje, na př. při stavbách. Jednak pohodlnější práce, jednak i ramena značné velikosti jsou příčinou, že zobecněl tento stroj. Co o zapuštění tyčí do hřídele a o výšce jejich nad podlahou u dřívějších strojů řečeno bylo, platí také zde. Aby strojem uskutečněné působení ve vodorovném směru i na směry jiné přenešeno býti mohlo, upotřebuje se při tom nehybné kladky *B*, která, jak z předešlého známo, směr libovolně měniti dopouští, aniž by se tím poměr síly k břemenu *Q* nějak rušil. Pro pra-

videlnější svinování se provazu na hřídel dává se mu někdy v těchto místech podoba vykrouhlá, jak u *A* na obraze viděti jest, aneb zvláštní moták. Všecko ostatní jest dílem z předešlého známo, dílem se to i již z obrazu vyčísti dá. Podmínky rovnováhy ustanoví se zde jako na každém vratidle, když se délka tyče č. ramena, na kterém upotřebená síla *P* působí, s poloměrem hřídele, ku kterému se i poloměr provazu připočísti musí, porovná. Jestiť i zde $P : Q = r : R$, z čehož *R* a *r* odměřiti a porovnati třeba, když se stroj posouditi, *P* a *Q* však známo býti musí, když se stroj potřebám přiměřeně zaříditi má. Je-li na př. $R = 4'$ a $r = 1/2'$, tedy $R = 8r$, jest pro rovnováhu potřebí, aby *Q* taktéž osmkrát větší bylo než *P*. Kdyby naopak $Q = 250$ lb., tedy desetkráte tolik obnášeti mělo co obyčejná síla člověka t. 25 lb., třeba stroj pro rovnováhu tak zaříditi, aby rameno právě tolikrát větší bylo než poloměr hřídele, t. $R = 10r$.

79. Má-li člověk výhodně na tomto stroji pracovati, jest zapotřebí, aby ramena příliš krátká nebyla, ponévadž by se v malém kruhu otáčeti musil, což přirozenost těla jeho nedopouští. Za touto příčinou stává se stroj tento člověku tím přiměřenější, čím delší ramena má, tak že se někdy až na 12′ zvětšují. Ano zvětší-li se dostatečně ramena jeho, stane se také způsobilým, aby se jím k rozličné práci i síly koňů a volů upotřebilo. Takovéto zmíněným silám přiměřeně zařízené stojaté vratidlo nazývá se *žentour* (Göpel).

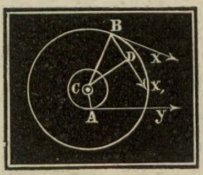
Již pouhý pohled na stožár ukazuje, že by se k pohybování jeho i síly volů a koňů upotřebiti dalo, kdyby jen ramena jeho *P* dosti dlouhá byla, aby k nim zapřažená zvířata v kruhu choditi mohla. Část hřídele *A*, kde se provaz natáčí, může se v podobě své dle potřeby zaříditi, tedy změniti v *moták* aneb i v *buben* libovolné velikosti. Obr. 134. ukazuje takový žentour. K sto-

Obraz 134.



jatému hřídeli jest přiděláno rameno čili voj B, které se 8′ až i 12′ dlouhé dělává, když jej lidé pohybovati mají. Pro koně a voly jest potřebí délky 20′ až i 30′, poněvadž se stroj pro tělo těchto zvířat k práci tím přiměřenější stává, čím voj jeho větší jest. Tím se totiž při skutečné práci právě v té míře větší kruh opisuje, jenžto se v svých jednotlivých částech více blíží přímé čáře, která přirozený směr dráhy zvířecího těla vyznačuje. Výška působiště upotřebené síly ustanovuje výšku, ve které voj do hřídele zapuštěn býti má. Jak již svrchu zmíněno, musí se vždy k tomu přihlížeti, aby upotřebená síla poněkud ve směru vodorovném působila, poněvadž se účinek její v jiných směrech rozkládá a částečně ruší, ano při tom i čepům škodí. Lidé, jak přirozeno, voj před sebou rukama strkají, kůň a vůl se však k ní připřahuje. Děje-li se připřahání způsobem obyčejným, nedá se mysliti, aby kůň čili vůl jak třeba kolmo na voj působil a přece stále v kruhu kráčel. Znázorníme-li si větším kruhem (obr. 135.) dráhu, kterou se kůň pohybovati má, a je-li tedy CB voj stroje, přechází při skutečné práci kolmý směr x do šikmého x', ve kterém se část jeho síly ruší. Ztráta tato jest i tím patrná, že kůň sice na rameně větším CB táhne, ale toliko ramenem menším CD účinkuje *). Aby se i takováto ztráta předešla, zapřahají se koně za chomout k vidlici P (obr. 134.), která k voji v přiměřené výši upevněna jest, čímž se směr síly kolmému směru Bx (obr. 135.) značně sbližuje. Upotřebí-li se dvou koňů, nechávají se působiti na dvou rozličných vojích proti sobě, jak na obraze 134. viděti jest, aby se tím tlak na čepy poněkud umenšil. Že by se i více koňů upotřebiti dalo, vysvítá z věci samé. Poloha hřídele řídí

Obraz 135.



*) Je-li $CB = R$, dá se délka tohoto poloměru ustanoviti z

$$CD = \sqrt{R^2 - \tfrac{1}{4}d^2} = (R^2 - \tfrac{1}{4}d^2)^{\frac{1}{2}}$$

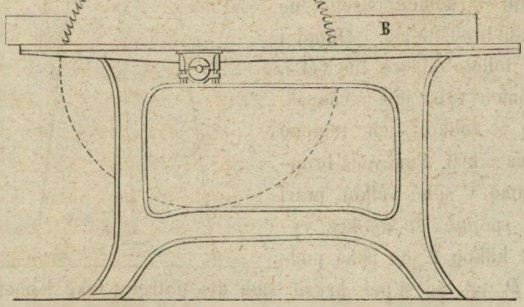
když d délku postranků koňských vyznačuje. Dle toho jest sblíženě

$$CD \doteq R - \frac{d^2}{8R}.$$

se potřebou a místností. Kotouč *A*, na který břemeno *Q* působí, může se na př. také k dolejší části hřídele pod podlahu přidělati, po které se koně pohybují, tak že pak jen rameno *B* na stroji viděti jest. Je-li *CA* (obr. 135.) poloměr kotouče, na který se břemeno *Q* ve směru *y* stáčí, jsouť podmínky rovnováhy vyznačeny srovnalostí $P:Q = CA:CB$, tedy zase $P:Q = r:R$, když *r* a *R* poloměry těchto kruhů vyznačují. I zde se dá, jako již svrchu řečeno, dle této srovnalosti hotový stroj posouditi, jakož i nový požadavkům přiměřeně zaříditi.

80. Uvedené příklady ukazují nám jen nejobyčejnější způsoby zařízení kola na hřídeli. Zákon zde upotřebený jest jednoduchý a dá se, jak přirozeno, velmi rozmanitým způsobem uskutečniti vůbec vždy tak, jak to potřeba žádá a důmysl lidský uskutečniti dovede. Z toho následuje, že to jen náhoda jest, když se břemeno na provaze na hřídel navinuje, jelikož i každým jiným podobným způsobem působiti může. Krásný příklad toho

Obraz 136.

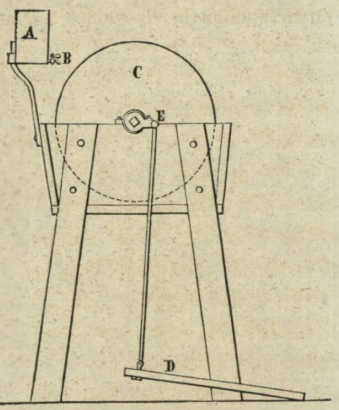


máme na *kruhové pile* (obr. 136.), kde břemeno v odporu záleží, který háčkovitě zazubená $^3/_4'''$ i $1'''$ silná ocelová deska *A* ve spojitosti dřeva nalézá, když je v rychlém otáčení prořezávati má. Pilka se pohybuje při tom velmi rychle, tak že se za minutu 700... 800 i vícekráte otočí. Za podkladek, ve kterém i osa pily s kotoučem na řemen spočívá, hodí se nejlépe stůl z železné litiny, jakýž také přiložený obraz ukazuje. Prkno

aneb fošna *B* postrkuje se jen rukama dle pocitu aneb i strojem samým, aby zuby vždy v nová místa zasahovaly. Zdali se pak hřídel, na kterém zmíněná kruhová pila upevněna jest, klikou bezprostředně aneb na zvláštním hřídeli opatřeným setrvačníkem otáčí, zdali se síla vody, páry a p. jak obyčejně řemenem na hřídel této desky *A* přenáší aneb hřídel jakkoli jinak pohybuje, to všecko nijak nemění povahu stroje, který v podstatě své nic jiného není než také kolo na hřídeli. Jelikož se dřevo jen nad osou kotouče, který toliko 12 až 36″ v průměru mívá, řezati může, vysvítá, že se tato pila k řezání špalků nehodí a v upotřebení svém jen na řezání 12 až 15″ silných dřev obmezuje. Výhodná jest však k rozřezávání fošen, prken na latě a p. Pravidelnost a dokonalost této práce činí kruhovou pilu vždy obecnější.

Jiný příklad poskytuje nám *obyčejný brus* (obr. 137.). Síla působí na klice *E*, břemeno však na kameně *C*. Jestiť to odpor, kterým předmět při pohybování na kámen působí, na němž se brousiti má. Odtud i účinek tohoto odporu tím větší, čím kámen větší jest a naopak, jelikož ve velikosti jeho rameno břemena záleží. Poněvadž broušení samo v sobě velkou prací není, spojuje se ne bez výhody s klikou *E* co páka podnožka *D*, tak že si pak brusič sám dle potřeby také kámen otáčeti může. Že se pro pohodlí ke korejtku i truhlík na vodu *A* s kohoutkem *B* přidělává, aby voda v žádoucím množství přitékati mohla, rozumí se samo sebou.

Obraz 137.



81. Až posud se mluvilo toliko o podmínkách rovnováhy, která však pravidelně účelem těchto strojů není. Skutečná práce má se jimi konati, protož potřebí všímati si i skutečného pohybování při současném překonávání nějakého břemena. Úloha tato

týká se tedy také dráhy, kterou síla i břemeno na rameně, na kterém působí, současně vykonává. Představíme-li si průřez stroje tohoto na obraze 128. aneb 135., shledáme hned, že se provaz s břemenem jednou na hřídel čili na kotouč navine, když se klika aneb vůbec rameno síly jednou bylo kolem otočilo. Jelikož ale obvod kruhu co do velikosti od poloměru závisí, t. j. vždy právě tolikráte se zvětšuje, kolikráte se byl poloměr zvětšil a naopak, a poněvadž co zde o celém obvodu řečeno bylo, také o každé jednotlivé části jeho, t. j. o oblouku libovolné velikosti platí, vysvítá, že dráha při práci silou vykonaná vůbec právě tolikrát větší býti musí než dráha břemena, kolikráte rameno síly větší jest než rameno břemena a naopak. Z toho následuje, že se poměr ramen zastupovati dá poměrem vykonaných drah, že tedy i součin ze síly a vykonané od ní dráhy vyrovnávati se musí součinu z břemena a jeho dráhy, t. j. *že se mechanické momenty obou sil čili účinky jejich vespolek vyrovnávají.* Jelikož však vykonaná práce čili účinek sil nic jiného není než velikost síly násobené drahou, můžeme tedy i zde říci, že se na všech vratidlech jen právě tak velký účinek v práci objevuje, s jakým byla upotřebená síla na stroji působila, že tedy ani tento stroj upotřebenou silou konanou práci *nijak nezmnožuje* *). Vyrovná-li na př. člověk na žentouru silou 30 lb. působnost břemena 300 lb., musí za to 10krát tak velkou dráhu konati, jako ji koná břemeno; vykonává tedy při skutečné práci vždy 10 stop cesty, mezitím co břemeno o jedinou dále postupuje.

Ostatně připomenouti sluší, že stroji těmito docílený vý-

*) Vyznačí-li se na hřídeli vůbec písmenem R rameno síly P a písmenem r rameno břemena Q, žádá rovnováha, aby $P : Q = r : R$ bylo, z čehož také $P : Q = r\alpha : R\alpha$ následuje. Je-li α úhel, který nám odchylku z nějaké určité polohy vyznačuje, jest $r\alpha$ a $R\alpha$ v tomto úhlu opsaný oblouk, tedy i oběma silama soudobně vykonaná dráha. Stavíme-li $r\alpha = s$ a $R\alpha = S$, jest $P : Q = s : S$, tedy i $P.S = Q.s$. Odtud jest souvislost momentů statických a mechanických patrná, poněvadž zcela jednoduše poměr ramen do poměru drah přechází, které síly otáčením se strojů těchto vykonávají.

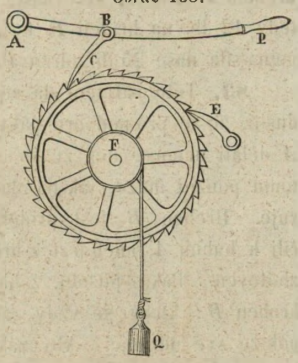
sledek nikdy nedostihne velikost práce, kterou ruka lidská vykonati musí, aby je pohybovala, než že vždycky menší ostává, ačkoli by dle svrchu zmíněné věty vždy právě tak velký býti měl. Dílem již svrchu (76.) zmíněné sem tam nepřiměřené působení síly, dílem i rozličné překážky, které se více méně na každém stroji při skutečné práci objevují, konečně i náčiní a nádobí, kteréž se pohybovati musí, aniž by práci přímnožovalo, jako na př. kbelík, okov, řetěz, provaz a j., který se s vodou nahoru táhne a zase prázdný dolů spouští, ruší vždycky částečně konanou práci upotřebené síly. Z toho následuje, že člověk těmito stroji nikdy tolik práce nevykoná, jak to počet udává, když se střední účinek jeho násobí dobou, ve které na stroji pracuje, aneb co by bez strojů pouhýma rukama vykonati mohl, kdyby práce tato v přiměřené míře rukoum jeho přístupná byla (37.). Mnohými zkouškami se ukázalo, že člověk na obyčejném rumpálu 20—25% své práce ztrácí, tak že skutečný výsledek toliko 80—75% působnosti jeho obnášívá. Na stožáru obnáší tato ztráta pravidelně asi 30%, podobně i na žentouru. Vykoná-li na př. člověk otáčením rumpálu svou střední silou 25 lb. dráhu 4', tedy práci 4.25 = 100 librostop, objeví se na stroji účinek toliko 75 lbstp., kdežto 25 lbstp. potřebí bylo, aby se překážky překonaly, které se pohybováním stroje naskytují. Z toho následuje, že se vždycky více síly vynaložiti musí než co účinek žádá, tak že se na př. k vykonání práce 100 lbstp. člověk 125 lbstp. ano i ještě více přičiniti musí. Krátce může se říci, že člověk na strojích těchto $^1/_5$, $^1/_4$ ano i $^1/_3$ působnosti své v účinku ztrácí. Považíme-li, že člověk ani bez přestávky stroj takový pohybovati nemůže, že na př. vždy nějaké doby potřebí, aby se břemeno naložilo, složilo a t. d., snadno pochopíme, že účinek skutečný ještě daleko menší býti musí. I zde se mnohými zkouškami ustanovilo, mnoho-li práce vůbec člověk za minutu, za hodinu, následovně i za den takovými stroji koná, jak to vzadu na přiložených tabulkách viděti jest.

82. Jednak potřeba, jednak pohodlí a rozličné výhody při práci jsou příčinou, že se stroji tomuto nejen rozličná podoba dává, než že se i s jinými rozmanitě v jeden celek skládá.

Tak se přibírají k němu *páky, kladky* aneb i zase ještě jiná *kola na hřídeli*, čímž se zdánlivě mnoho nových strojů zaříditi dá, které se podobou i účelem od sebe liší.

Že se kolo na hřídeli s pákou skládá, vůbec známo; již na obr. 137. uvedený brus s podnožkou to ukazuje. Jiný příklad zařízení toho máme na háčkovitě zazubených kolech, tak zvaných *hřebenech* (Sperrad). Obr. 138. ukazuje nám takový hřeben s jednoduchou pákou, kde se na hřídel *F* provaz natáčeti a na něm zavěšené břemeno *Q* nahoru zvedati aneb dle potřeby i dolů spouštěti může. Že se tím i jiná práce konati dá, rozumí se samo sebou; tak na př. mohou se tím provazy, tkaniny a všelijaké jiné věci napínati, vytahovati a t. d. Pohybování děje se na páce silou *P*, která v pevné ose *A* svou podporu má. Páka působí pomocí základky *C* na kolo, které po každém částečném pohnutí o jeden aneb i více zubů základka *E* v zubech zachycuje, aby se tím v žádoucí poloze udržovalo. Mají-li se podmínky rovnováhy na tomto stroji ustanoviti, třeba jen povážiti, že se účinek páky na kolo přenáší. Působnost břemena *Q* na základku *E*, která kolo s břemenem v rovnováze udržovati má, jest tolikráte menší než břemeno samo, kolikráte poloměr hřebene větší jest než poloměr hřídele *F*. Vyznačí-li se působnost břemena *Q* na základku *E* písmenem *q* a je-li poloměr hřebene vyznačen písmenem *R* a poloměr hřídele *r*, obdržíme krátce $q : Q = r : R$. Působnost břemena *Q* na základku *E*, totiž *q*, jest zároveň břemenem na základce *C* pro páku, na kterou upotřebená síla *P* působí. Sblíženě se může vzíti, že síla *P* v rovnováze tolikráte menší jest než *q*, kolikráte vzdálenost působiště jejího od osy *A* větší jest než *AB*, totiž $P : q = AB : AP$. Z toho vysvítá, že se hřebenem zmenšený poměr sil pákou ještě jednou na tomto stroji zmenšuje. Kdyby na př. $Q = 12$ lb., $R = 12''$ a $r = 3''$, tedy $R = 4r$ bylo,

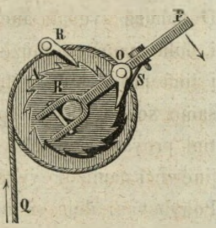
Obraz 138.



obdrželi bychom $q = 3$ lb. Je-li $AP = 3.AB$, požaduje q, které na páku v B působí, na konci jejím sílu P třikráte menší, tedy toliko jedné libry pro rovnováhu. Od čtvrtiny břemena, které na hřeben působí, přijde na páku pro P toliko třetí díl *). Kdybychom od síly vycházeli, udržela by jedna libra na rameně třikráte menším, tedy v B, v rovnováze 3 lb. a tyto co síla na hřebeně působící vyrovnaly by se účinku 4krát tak velkému, tedy 12 lb. na hřídeli F, t. j. na poloměru 4krát menším. Obyčejná síla naše 25 lb. udržovala by v rovnováze 12.25 lb. $= 300$ lb.

83. Toto zařízení dá se tím zjednodušiti, že se pro podporu páky zvláštní osa A dělati nemusí, než že se osy hřídele k tomu použiti může, jak to obraz 139. ukazuje. Hřeben B jest přidělán k hřídeli čili k bubnu A, aneb jest z hřídele samého zhotoven. Páka působí základkou O na hřeben B, který se vždy základkou R v poloze své udržuje. Aby základka O ze zubů hřebene nevypadávala, jest k páce přiděláno pružné péro S, které ji stále k hřebenu přitlačuje. Páka P jest při tomto stroji vidlicí na osu volně navlečena, což tu výhodu poskytuje, že se jako klika v celém kruhu otáčeti nemusí, jelikož k otáčení bubnu i oblouk jedinkého zubu postačuje. Právě za touto příčinou může se páka tato dělati libovolně velká. Při práci pohybuje se páka v přiměřeném oblouku střídavě dolů a zase zpět nahoru, aby základkou vždy nový zub zachytila. Co se podmínek rovnováhy týká, platí zde, co nahoře o hřebenu řečeno bylo, poněvadž to tatáž věc jest, s tím toliko rozdílem, že v tomto případu poloměr hřebene B menší jest než poloměr hřídele čili bubnu A. Účinek břemena Q na hřebeně v základce R a O jest břemenem pro sílu P, která na páku působí a základkou O toto břemeno

Obraz 139.



*) Je-li $AB = r'$ a $AP = R'$, obdržíme porovnáním

$$\left.\begin{array}{l} q : Q = r : R \\ P : q = r' : R' \end{array}\right\} P : Q = rr' : RR',$$

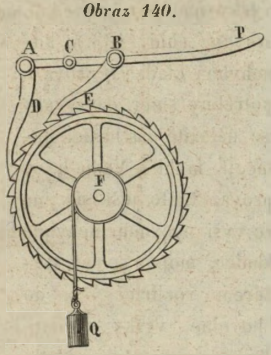
jak to již i nahoře u páky viděti bylo.

překonává. Ačkoli se působení břemena zprvu na hřeben a z tohoto teprv základkou na páku přenáší, není věc v případu rovnováhy jiná než jakoby páka s bubnem v pevném spojení byla. Pro účinek jest to jednostejné, jak páka s hřídelem spojena jest. Vyznačí-li se poloměr bubnu písmenem b a délka páky písmenem a, jest jako vůbec i zde zapotřebí, aby $P : Q = b : a$ bylo *).

Dá-li se páka v kruhu otáčeti, může se k ose pevně přidělati jako u obyčejného rumpálu, čímž se základka O zbytečnou stává. Základka R poskytuje však tu výhodu, že se jí břemeno Q v každé výši udržovati dá. Krásný příklad takového zařízení máme na rumpálech, jimiž se ze studnic našich v oda váží. Základka R v přiměřené velikosti přidělává se buď k ohlubni, buď k stojanu jejímu. Není-li zvláštní hřeben k hřídeli přidělán, přispůsobí se tak hřebenovitě hřídel sám, když se na př. zuby v něm vytesají. Výhoda takového zařízení záleží v tom, že se okov s vodou v každé výši udržovati může, aby se voda z něho pohodlně nabírati mohla, kdežto v případech, když se okov na ohlubeň staví, velkou část vody, kterou jsme byli namáhavě nahoru vyvážili, nahnutím okova ztrácíme a takovýmto stálým políváním stěn ohlubně a studnice oboje si kazíme.

84. Při zařízení hřebene, jakéž na strojích předešlých (obr. 138. a 139.) viděti bylo, účinkuje síla jen tenkráte, když se páka dolů pohybuje, kdežto se vždy na prázdno zase nahoru zvedati musí, čímž se při práci zbytečně čas maří. Aby páka i v pohybu zpátečném na kolo účinkovala, třeba jen osamělou základku tak s pákou spojiti, jak to obr. 140. ukazuje. C jest pevná osa páky, na

Obraz 140.



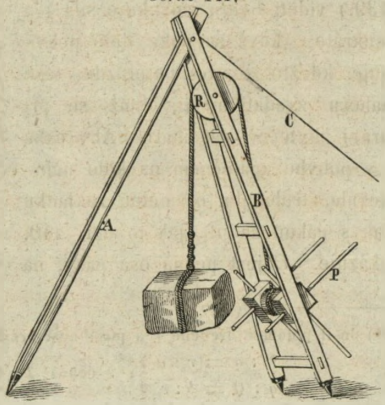
*) Je-li poloměr hřebene r a působnost břemena na hřeben q, jest $P : q = r : a$ a $q : Q = b : r$, z čehož $P : Q = b : a$ následuje.

kterou síla *P* působí. Táhneme-li páku dolů, účinkuje ramenem *CA* pomocí základky čili háku *D*; zvedáme-li páku nahoru, účinkuje zase rameno její *CB* hákem čili základkou *E*, v obojím případu hřeben s hřídelem otáčejíc. Břemeno *Q* se při tom zvedá, poněvadž se provaz, na kterém zavěšeno jest, na hřídel *F* natáčí.

Zvláštnost hřebenů těchto záleží v tom, že síla v jakékoli libovolné, tedy i v nejpřiměřenější poloze páky působiti může, že se působení její v přestávkách děje, dle potřeby v každém místě zastaviti dá a konečně že se i poměr síly k břemenu v dosti velkých mezích zvětšiti a zmenšiti může. Rameno síly dá se totiž dosti dlouhé udělati, když se jen k tomu zuby tak zařídí, aby opsáním obyčejného rukoum přiměřeného kruhu základka vždy alespoň o jeden zub postupovala. Poněvadž tyto stroje více jen k nahodilé práci sloužiti mají, jelikož se na nich jen v rozličných lhůtách a ve zvláštních případech pracuje, nedá se jaksi ani ze zkušenosti ustanoviti, mnoho-li práce člověk těmito stroji denně konati může, poněvadž celé dni jimi skoro nikdy nepracuje.

85. Aby se upotřebení vratidel rozšířilo, spojují se zhusta s *nehybnou kladkou*, čímž se pro pohybování břemena vždy žádoucího směru docíliti dá, tak že se pak vratidly břemena i do výšky nad stroje zvedati mohou. Příklad toho bylo viděti již na *stožáru* (obr. 133.), kde nehybná kladka *B* provazu potřebný směr dává, aby se náležitě na hřídel natáčeti mohl. Vede-li se provaz tento ještě po jiné ve výši upevněné nehybné kladce, mohou se pak stožárem rozličné věci do libovolné výšky zvedati. Jiné spojení vratidla s kladkou k podobným účelům ukazuje nám obecné *rumpálové zdvihadlo* (ob. 141).

Obraz 141.



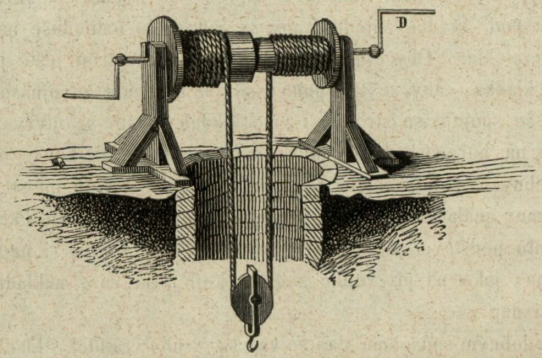
Jestiť to nejjednodušší stroj, kterého se k zvedání těžkých věcí na malé výšky výhodně upotřebiti dá. Skládáť se z tří latí, z nichž dvě v pevný žebřík *B* spojeny jsou, aby se osa rumpálu *P* a nehybné kladky *R* do něho zapustiti mohla. O lať třetí *A* opírá se pak celý stroj. V případech, žeby se lať *A* nikde opříti nemohla, dá se žebřík *B* provazem *C* zpředu upevniti. Jelikož nehybná kladka *R* jen směr síly mění, aniž by při tom poměry sil nějak rušila, nejsou zde podmínky rovnováhy jiné, než jaké již na rumpálu křížovém ustanoveny byly. Stroj tento hodí se zvláště k skládání a nakládání těžkých věcí na vozy. Má-li se věc nějaká naložiti, napřed se zvedne a s vozem se pak pod ni tak zajede, aby se jen zcela jednoduše na něj spustiti mohla. Obyčejně se přidává k tomuto stroji ještě jedna hybná kladka, aby se tím poměr síly k břemenu zdvojnásobnil; někdy se spojuje se strojem i více kladek. Jestli se čtyry silné trámce na hořejším konci dobře spojí, dolejší pak konce jejich v potřebných vzdálenostech od sebe v podlaze pevně umístí, tak aby hrany jehlance představovaly, dá se pomocí hřídelů a kladek na tomto podstavci takový stroj zařídíti, že se jím i největší břemena, jako na př. veliké železné kotle, na vozy nakládati a skládati dají.

Podobným způsobem dají se všecky druhy vratidel s kladkami spojovati; jmenovitě se to stává u stožáru, s kterým se pravidelně obecný kladkostroj spojuje. Provaz, který se na hřídel natáčí, jest ovinut kolem kladek obou skřipců, na kterých břemeno visí. K ustanovení podmínek rovnováhy třeba si jen vzpomenouti, že dělníkům na stožáru jen tolikátý díl břemena překonati jest, kolik kladek oba skřipce v sobě obsahují. Že břemeno při skutečném zvedání právě tolikráte menší dráhu koná než upotřebená síla, kolikráte větší jest než toto, čili že práce, kterou při tom síla koná, právě tak velká býti musí jako účinek, který se strojem uskutečňuje, rozumí se samo sebou.

86. Ačkoli se na některých vratidlech prodloužením ramen poměr síly k břemenu značně zvětšiti dá, jako na stožáru, který tímto spůsobem i v žentour se mění, ačkoli i tyto stroje s pákou a kladkami spojovati možno, aby poměr síly k břemenu

větší byl, nicméně ani takto zařízené složené stroje nepostačují, aby všecky poměry v takovém způsobu uskutečňovaly, jak to průmyslný život požaduje. Účele toho dá se docíliti *jen vespolným spojováním kol na hřídelích.* Postup jest tu přirozený, jak to již i u páky viděti bylo. Nestačí-li jedno kolo na hřídeli, upotřebí se jich více zároveň, z nichž tedy již druhé poměr sil, který prvním ustanoven byl, zvětšuje, což se třetím a čtvrtým, upotřebí-li se jich, ještě více zvýší, až se dostatečným zmnožením kol tak zvětší, jak se to zapotřebí býti vidí. Hlavní věcí jestiť pak přiměřené spojení všech kol v jeden působící celek.

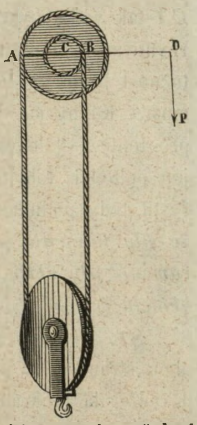
Obraz 142.



Velmi důmyslné a téměř nejjednodušší spojení dvou hřídelů ukazuje nám *dvojhřídel* čili *rumpál dvouhřídelný* (Differential-haspel) na obraze 142. Jak viděti, jsou to dva hřídele na jedné ose ve spojení s hybnou kladkou. Provaz, který kladku nese, jest jedním koncem upevněn k většímu, druhým k menšímu hřídeli a na oba navinut v protivném směru. Pohybuje-li se dvojhřídel tento klikou *D*, musí se v protivných směrech navinutý provaz z jednoho stáčeti a na druhý natáčeti. Jak z věci vysvítá, uskutečňuje se výsledek v tom směru, ve kterém větší hřídel působí, poněvadž se tu větší část provazu navinuje aneb odvinuje, než se to na druhém díli může. Konečný výsledek jest vždy toliko rozdíl dvou výsledků, které se současně v protivném směru jeví. Jedná-li se o podmínky rovnováhy, třeba si jen představiti průřez stroje, který se obrazem 143. znázor-

ňuje. Břemeno Q, které na nehybnou kladku zavěšeno jest, rozkládá se na dvě půlky, z nichž na každém provaze jedna působí. Poněvadž účinek na rameně větším $CA = R$ také větší jest než na rameně menším $CB = r$, musí upotřebená síla P na klice D ve směru menšího ramena působiti, aby se rovnováha udržela. Kdyby se poloměr CB nekonečně malým stal, tak aby provaz v ose C zavěšen byl, obdrželi bychom velikost síly S, která by v D působila z $S : \frac{1}{2}Q = R : CD$, tedy tolikráte menší než $\frac{1}{2}Q$, kolikráte rameno síly $CD = a$ větší jest než $CA = R$. Jelikož ale na rameně $CB = r$ ve směru síly také $\frac{1}{2}Q$ působí, musí potřebná síla, kterou písmenem P vyznačiti můžeme, menší býti než svrchu vypočtěné S. Působnost $\frac{1}{2}Q$ jest totiž v bodu D tolikráte menší než v bodu B, kolikráte a větší jest než poloměr menšího hřídele r. Tato působnost, z poloviny břemena přenešená do D z bodu B, musí se tedy od S odtáhnouti, aby se pravá velikost potřebné k tomu síly P ustanovila. Kdyby na př. $R = 5''$, $r = 3''$ a $a = 15''$, tedy $a = 3R$ a břemeno $Q = 60$ lb. velké bylo, musila by síla S, kdyby v bodu D samotna bez ohledu na působnost $\frac{1}{2}Q$ v bodu B rovnováhu udržovati měla, 3kráte menší býti než $\frac{1}{2}Q = 30$ lb., následovně $S = 10$ lb. Od těchto 10 lb. musí se ještě tolik odejmouti, co působnost poloviny břemena, které na rameně CB zavěšeno jest, v bodu D obnáší. Jelikož $CD = 5.CB$, tedy pětkrát větší jest, dělá to jen pátý díl t. $\frac{1}{5}$.30 lb., následovně 6 lb., které se od domnělé síly $S = 10$ lb. odtáhnouti musí, aby se pravá velikost síly P objevila, z čehož $P = 10-6 = 4$ lb. následuje. Tímto zařízením udržovala by se tedy síla 4 lb. v rovnováze s břemenem 60 lb., tak žeby na 1 lb. síly 15 lb. břemena přicházelo, t. j. síla vždy 15kráte menší byla. Výsledek jest následovně takový, jakoby břemeno $\frac{1}{2}Q$ jen na jedné straně působilo a rameno jeho rozdílu obou ramen č. poloměrů se vyrovnávalo, zde tedy $5''-3''=2''$

Obraz 143.



velké bylo. Věc jest to ostatně zcela přirozená; nebo kdyby *CA* tak velké bylo jako *CB*, bylo by břemeno samo sebou v rovnováze. Jen tím, oč rameno *CA* větší jest než *CB*, povstává točnost břemena $^1/_2 Q$, která se silou *P* v rovnováze překonávati musí. Kdyby se však celé břemeno pozorovati mělo, musilo by pro tentýž výsledek dvakráte menší rameno míti, následovně jen polovici tohoto rozdílu obou poloměrů, a zde toliko 1″. Jestiť tedy podmínka rovnováhy na tomto stroji tím ustanovena, *že síla tolikráte menší jest než břemeno, kolikráte klika čili rameno síly větší jest než polovina rozdílu poloměrů obou hřídelů* *).

87. Snadno se dá ukázati, že i zde vykonaná práce na obou stranách, t. j. práce síly i břemena, sobě rovna jest, poněvadž síla tolikráte větší dráhu vykonává než břemeno, kolikráte břemeno větší jest než síla. Síla opisuje každým otočením kruh, jehož poloměrem délka kliky jest, při čemž provaz s břemenem vždy jen o to postoupí, oč obvod jednoho hřídele větší jest než obvod druhého. Jelikož se provaz současně na obou stranách kladky zvedati aneb dolů padati, tedy prodloužení i skrácení jeho na dvě strany se děliti musí, jest dráha břemena ještě dvakráte menší než délka v též době odvinutého provazu obnáší. Je-li věta tato dokázána, dá se i naopak poměr síly k břemenu tímto způsobem snadno ustanoviti. Kolikráte totiž dráha břemena menší jest než v stejné době klikou opsaný kruh čili dráha síly, tolikráte musí síla menší býti než břemeno, aby se rovnováha uskutečnila.

---

*) Pro rovnováhu musí býti $^1/_2 Q.R = {}^1/_2 Q.r + P.a$ čili

$$^1/_2 Q.(R-r) = P.a \text{ a také } Q.\left[\frac{R-r}{2}\right] = P.a,$$

z čehož svrchu zmíněná srovnalost $P : Q = {}^1/_2(R-r) : a$ následuje. Považíme-li, že se

$$Q\left[\frac{R-r}{2}\right] = P.a \text{ také v } Q\left[\frac{2\pi R - 2\pi r}{2}\right] = P.2\pi a$$

proměniti dá, jest i při tomto stroji rovnost momentů mechanických patrná, jelikož $\frac{2\pi R - 2\pi r}{2}$ dráhu břemena, $2\pi a$ však dráhu síly vyznačuje.

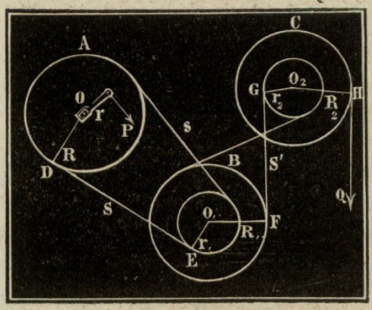
Okolnost, že polovina rozdílu poloměrů obou hřídelů na tomto dvouhřídelném rumpálu ramenem břemena jest, ukazuje zvláštnost a výhodnost jeho, která v tom záleží, že se poměr síly k břemenu zde *libovolně* zvětšiti dá, což u jiných rumpálů možno není. Rozdíl obou poloměrů může se totiž tak malý udělati, jak to potřeba žádá. Kdyby na př. člověk na klice 15″ dlouhé svou obyčejnou silou 25 lb. břemeno 15 centů, tedy 60kráte větší držeti měl, musila by polovina rozdílu poloměrů upotřebeného hřídele $^1/_4$″ obnášeti, t. j. 60tý díl celé délky kliky. Celý rozdíl poloměrů by tedy obnášel $^1/_2$″. Z toho následuje, že poloměr hřídele menšího zcela libovolný jest, jelikož *jen porovnání* jeho s poloměrem hřídele většího podmínky rovnováhy stanoví. Rozumí se samo sebou, že by se tenší hřídel alespoň tak silný udělal, aby břemeno udržeti mohl; hřídel druhý by pak měl, jak vypočteno, poloměr o $^1/_2$″ větší.

Jednak že se stroj tento bez zvláštních příprav snadno zhotoviti dá, jednak že se na něm téměř všecky jen možné poměry síly k břemenu uskutečniti mohou, dalo by se mysliti, že jest velmi důležitým pro život praktický. Výhodnost jeho jest však velmi obmezená tou okolností, že se ho jen pro malé výšky upotřebiti dá. Pro výšky větší musil by provaz a následovně i hřídel příliš dlouhý a kladka právě proto velká býti, což jest příčinou, že se stroje tohoto v praktickém životě předce jen zřídka užívá. Výhodně by se ho dalo na př. upotřebiti místo jednoduchého rumpálu u zdvihadla rumpálového (obr. 141.), poněvadž by se tímto strojem téměř každé břemeno zvednouti dalo. Rozumí se však samo sebou, že by v tomto případu mimo hybnou kladku pro každý provaz i jedné nehybné potřebí bylo.

88. Jelikož, jak svrchu zmíněno, *dvojhřídel* v upotřebení svém jen na malé výšky a na časté přestávky v práci obmezen jest, vysvítá potřeba takového spojení kol na hřídelích, aby se na nich práce v libovolných poměrech síly k břemenu, bez přestávky a jaksi i v libovolné výši konati mohla. Účele tohoto se dosáhne, když kolo jednoho hřídele do druhého hřídele tak zasahuje, aby se s hřídelem, který se otáčí, i druhý zároveň točiti musil. Jednoduché tření vespolným se dotýkáním hřídelů

a kol dostačuje k tomu jen v několika málo případech. Potřebí pravidelně, aby se jedno o druhé s úsilím opírati mohlo, čehož se nejjistěji zuby docíliti dá, které se v stejné velikosti do hřídelů a do kol zapouštějí. V mnohých případech *uskuteční se* to výhodněji řetězem, řemenem, šňůrou a provazem, jak to již i na obyčejných strojích našich, jako na přeslici, na kolovratu, soustruhu a j. vídáme. Způsob tento spojování kol na hřídelích již sám ukazuje, že jím počet hřídelů, které se spojovati mají, nijak obmezen není; ano do nekonečna dala by se vždy převáděti šňůra z kola jednoho hřídele na kolo druhého hřídele a naopak.

Obraz 144.

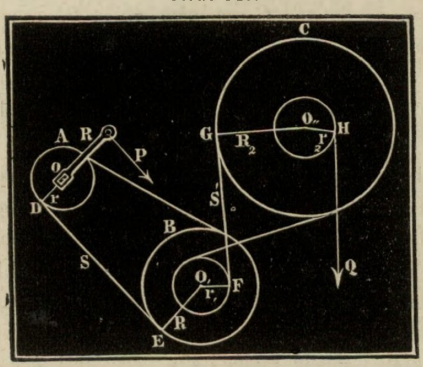


Obr. 144. znázorňuje poněkud převod síly řemenem z kola na hřídel. Kolo *A*, které s klikou *r* na jednom hřídeli upevněno jest, otáčí silou *P* pomocí řemene hřídel kola *B*, které řemenem aneb šňůrou toto pohybování kolem *B* zase na hřídel kola *C* přenáší, na kterém se břemeno *Q* zvedati aneb dolů spouštěti může. Upotřebení řemenů poskytuje tu výhodu, že se jimi pohybování v obou směrech kola uskutečniti dá, jak na obraze viděti jest. *A* a *B* pohybují se v témž směru; křižují-li se provazy, povstane v pohybu směr protivný jako u kola *B* a *C*. Že délka šňůry a řemenu žádného rozdílu nedělá, když se jí síla přenáší, bylo již svrchu řečeno. Řemeny jest možno hřídele v rozličných vzdálenostech a polohách spojovati, na př. přenášeti sílu z jedné strany světnice na druhou aneb z jednoho patra do druhého.

Aby se podmínky rovnováhy ustanovily, třeba jen povážiti, že by se pro případ, ve kterém síla *P* i *Q* působí, aniž by se nějaká část stroje pohybovala, t. j. v rovnováze jedno bylo, kdyby místo hřídelů a kol jen náležitá ramena na způsob pák působnost sil přenášela. Kolo *A* dalo by se dobře nahraditi

klikou r a ramenem $OD = R$, místo kola B působila by páka EO_1F ramenem $O_1E = r_1$ a $O_1F = R_1$ a konečně by se nahradilo kolo C pákou GO_2H s ramenem $O_2G = r_2$ a $O_2H = R_2$, tak že bychom místo hřídelů a kol toliko tři řemenem spojené páky pozorovati mohli. Vyznačí-li se napnutí provazu DE písmenem S a napnutí provazu FG písmenem S', možno postupně jedno s druhým porovnávati, až se poměr mezi silou P a břemenem Q co konečný výsledek objeví. Jestiť totiž na hřídeli prvním $P : S = R : r$. Jelikož S pro hřídel druhý silou, S' však břemenem jest, požaduje rovnováha, aby na tomto hřídeli $S : S' = R_1 : r_1$ bylo. Dle téhož pochodu musí na třetím hřídeli $S' : Q = R_2 : r_2$ býti. Podobně by se podmínky rovnováhy stanovily, kdyby více hřídelů řemeny spojeno bylo. Vůbec jest z toho již patrno, že se tu všecko opakuje, co nahoře (57.) o složené páce řečeno bylo. Kdyby se na př. $R = 2r$, $R_1 = 3r_1$ a $R_2 = 4r_2$ vyrovnávalo, bylo by pro rovnováhu $P = 2S$, t. j. upotřebená síla dvakrát tak velká než uskutečněné od ní napnutí provazu DE, dále pak $S = 3S'$ a konečně $S' = 4Q$, z čehož následuje, žeby $P = 2S = 6S' = 24Q$ bylo, t. j. břemeno 24krát menší než síla.

Obraz 145.



Opáčný poměr by se objevil, kdyby se řemen vždy z *hřídele na kolo* převáděl, jak na obraze 145. viděti jest. Je-li na př. délka kliky dvakrát tak velká jako poloměr hřídele jejího, tedy $R = 2r$, a jsou-li rozměry ostatních kol a hřídelů takové

jako svrchu, bylo by v rovnováze břemeno Q 24krát větší než síla. Všecko, co nahoře řečeno bylo, platí i zde, s tím toliko rozdílem, že ramena síly zde v tom poměru větší jsou než ramena břemena, ve kterém nahoře menší byla. Tyto dva uvedené příklady spojování kol řemeny ukazují dostatečně, že se tímto spůsobem libovolně velkého a libovolně malého poměru sil uskutečniti dá.

Jednoduchým porovnáním otáčení se kol snadno se přesvědčíme, že dráha, kterou v prvním případu (obr. 144.) břemeno Q koná, 24krát větší jest než dráha, kterou v působnosti své síla P vykonává. V případu druhém (obr. 145.) koná břemeno Q dráhu právě tolikráte menší než síla P, tak že i zde vůbec momenty mechanické sobě se vespolek vyrovnávají, t. j. že břemeno dráhu tolikráte menší koná než síla, kolikráte větší jest než tato a naopak. Tak viděti na stroji prvním (obr. 144.) břemeno malé, které se právě v té míře s větší rychlostí pohybuje; na stroji pak druhém (obr. 145.) břemeno velké s rychlostí v tétéž míře menší.

89. Když se každý kotouč sám o sobě pozoruje, jest viděti, že r (obr. 144.) u kotouče A rameno síly a R rameno břemena, r_1 u kotouče B rameno síly a R_1 rameno břemena, a taktéž r_2 na kotouči C ramenem síly a R_2 ramenem břemena jest. Opak toho platí u druhého zařízení (obr. 145.), kde R, R_1 a R_2 rameno síly a r, r_1 a r_2 rameno břemena jest. Jelikož postupně každý poměr ramen daný již poměr sil svou měrou zvětšuje aneb zmenšuje, daly by se podmínky rovnováhy na opásaných kolech i v ten smysl ustanoviti, že *poměr síly k břemenu* na nich *takový jest jako poměr součinu ramen břemena k součinu ramen síly*, t. j. že břemeno v prvním případu (obr. 144.) v rovnováze tolikráte menší bude než síla, kolikráte součin ramen břemena větší jest než součin ramen síly; a v druhém případu (obr. 145.) že břemeno tolikráte větší bude než síla, kolikráte součin ramen síly větší jest než součin ramen břemena.

Má-li se poměr síly k břemenu na hotovém stroji posouditi, třeba si jen povšimnouti, jak se působnost síly z hřídele na hřídel přenáší, poněvadž se vždy poloměr kotouče, kterým se

hřídel pohybuje, za rameno síly, poloměr však druhého kotouče, kterým hřídel pohybování své dále přenáší, za rameno břemena považovati musí. Co zde o poloměrech kotoučů řečeno bylo, platí také o jejich obvodu, tak že se v mnohých případech raději obvod kotoučů měřívá a do počtu uvádí, poněvadž se to na hotových strojích snáze a určitěji provésti dá, než měření poloměrů jejich *).

Jedná-li se naopak o zařízení takového kolostroje, na kterém by se nějaký určitý větší poměr síly k břemenu uskutečniti měl, třeba jen poměr tento za součin více činitelů, tedy více poměrů považovati a jej přiměřeně rozložiti. Bezprostřední rameno síly a břemena ustanovuje se vždycky přirozeností jejich; jinak musí na př. stroj zařízen býti, má-li na něm člověk, jinak

---

*) Pro zařízení, jakéž obraz 144. znázorňuje, jest

$$P : S = R : r$$
$$S : S' = R_1 : r_1$$
$$S' : Q = R_2 : r_2, \text{ z čehož}$$
$$P : Q = R.R_1.R_2 : r.r_1.r_2 \text{ následuje. Všeobecně}$$

by bylo $P : Q = R.R_1.R_2.R_3 \ldots : r.r_1.r_2.r_3 \ldots$ Podobně jest (ob. 145.)

$$P : S = r : R$$
$$S : S' = r_1 : R_1$$
$$S' : Q = r_2 : R_2 \text{ a z toho}$$
$$P : Q = r.r_1.r_2 : R.R_1.R_2.$$

Všeobecně by bylo $P : Q = r.r_1.r_2.r_3 \ldots : R.R_1.R_2.R_3 \ldots$ Z toho vysvítá, že se podmínky rovnováhy na opásaných kolech právě tak stanoví, jako se to svrchu (57.) u páky dělo. Je-li a bezprostřední rameno síly, na př. délka kliky, b bezprostřední rameno břemena, na př. poloměr posledního hřídele, a vyznačí-li se písmeny O_1, O_2, $O_3 \ldots$ a o_1, o_2, $o_3 \ldots$ obvod vespolek opásaných kol, obdržíme všeobecně pro prvnější zařízení stroje

$$\frac{P}{Q} = \frac{R_1.R_2.R_3 \ldots b}{a.r_1.r_2.r_3 \ldots} = \frac{b}{a} \cdot \frac{2\pi R_1}{2\pi r_1} \cdot \frac{2\pi R_2}{2\pi r_2} \cdot \frac{2\pi R_3}{2\pi r_3} \cdots = \frac{b}{a} \cdot \frac{O_1}{o_1} \cdot \frac{O_2}{o_2} \cdot \frac{O_3}{o_3} \cdots$$

z čehož následuje, že se místo poloměrů i obvod kotoučů do počtu bráti může, jelikož to pro posudek hotových strojů výhodnější bývá. Poněvadž se síla i břemeno v kruhu pohybuje, tedy rozličné oblouky opisuje, vysvítá, že svrchu uvedenými poměry i poměr vykonaných drah vyznačen jest, protože poměr velikostí oblouků takový jest, jako poměr poloměrů kruhů jejich.

má-li na něm kůň, pára, voda a j. působiti. Bezprostředním ramenem síly jest tedy klika, voje žentouru, poloměr vodního kola a j., bezprostředním ramenem břemena jest však poloměr posledního hřídele, bubnu a p. náčiní, které potřeba předpisuje. Čeho se těmato ramenama danému poměru ještě nedostává, doplní se koly, jichž poloměry přiměřené poměry mají. Kdyby na př. člověk, jehož síla 30 lb. obnášeti může, břemeno 9 centů těžké zvedati měl, můžeme věc zprvu tak považovati, jakoby je toliko v rovnováze držel. Jestiť pak $P : Q = 30 : 900 = 1 : 30$, tedy potřebí, aby rameno síly 30kráte větší bylo než rameno břemena, aby se to uskutečnilo. Jelikož poměry menší výhodnější jsou, mohou se k tomu dva aneb tři hřídele vzíti. Jestli se klika 15″ dlouhá a poloměr hřídele, na který se břemeno navinuje, 3″ velký udělati, tedy tím poměr $3'' : 15'' = 1 : 5$ uskutečniti má, zbude ještě $1 : 6$, což se buď jedním hřídelem čili soukolím s tímto poměrem aneb dvěma s poměry $1 : 2$ a $1 : 3$ uskutečniti dá. Bylo by tedy dle okolností a potřeby $\frac{P}{Q} = \frac{1}{30}$, $\frac{P}{Q} = \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{6}$ a $\frac{P}{Q} = \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3}$, z čehož následuje, že by se poměr tento trojím způsobem uskutečniti dal, jedním, dvěma aneb třemi hřídeli, tedy buď bezprostředně, pomocí jednoho aneb dvou soukolí s uvedenými poměry. Úloha tato opakovala by se, kdyby na př. kůň, jehož síla 100 lb. jest, 30 centů na žentouru táhnouti měl. I zde bychom obdrželi zprvu poměr pro rovnováhu $P : Q = 100 : 3000 = 1 : 30$, který by se žentourem, jaký obraz 134. ukazuje, uskutečniti dal. Je-li však na př. voje 20′ dlouhé ramenem síly a poloměr bubnu 3′ velký ramenem břemena, tím tedy $3 : 20$, zbývá ještě poměr $2 : 9$, k čemuž by jedno soukolí postačovalo. Kdyby se k tomu dvě soukolí vzíti měla, musila by se zaříditi kola jejich dle poměrů $2 : 3$ a $1 : 3$, tak že bychom troje rozličné zařízení téhož stroje obdrželi, totiž

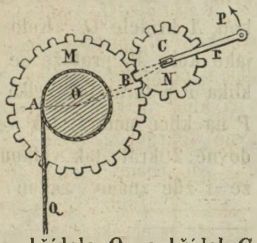
$$\frac{P}{Q} = \frac{1}{30}, \quad \frac{P}{Q} = \frac{3}{20} \cdot \frac{2}{9} \text{ a } \frac{P}{Q} = \frac{3}{20} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3}.$$

Jelikož se součin tento i také ještě z jiných činitelů skládati může, vysvítá, že také i ještě jiné zařízení stroje k témuž účeli možné jest a sice tolikeré, kolikero rozličných činitelů se pro

tentýž součin vymysliti dá. Z toho následuje, že strojník téhož účele velmi rozličným spůsobem tedy rozličnými kolostroji dosáhnouti může, při čemž se jednak na volný chod stroje, jednak na místnost, kde stroj působiti má, ohled bráti musí. Poněvadž se každý i sebe větší součin v malé činitele rozložiti dá, vysvítá, že se kolostroji i každý poměr sil uskutečniti může. Z předešlého jest také viděti, že to není prostá velikost jednoho neb druhého kotouče, nýbrž *poměr jejich*, který podmínky rovnováhy ustanovuje. Tak na př. z poměru čili soukolí $^1/_3$ není viděti, jak velký kotouč býti má, nýbrž jen kolikráte jeden větší býti musí než druhý. Má-li na př. jedno kolo v průměru 1′, musí druhé 3′ míti; je-li obvod jednoho kotouče 3′ velký, bude druhý kotouč 9′ v obvodu míti a p.

90. Často však stává i takových případův, že se působnost jednoho hřídele na druhý šňůrou čili řemenem přenášeti nedá. Upotřebuje se někdy i síly tak velké, že pevnost řemenů nepostačuje, aby ji na delší čas dále přenášeti mohla. Jelikož řetězy, kterých by se upotřebiti mohlo, příliš těžké a nedostí hybné a právě proto strojům obyčejným nepřiměřené jsou, a často také potřebí jest, aby hřídele sobě co možná blízko stály, užívá se *kol* a *hřídelů ozubených*. Obraz 146. ukazuje spůsob takového jednoduchého *zazubení kol*. Síla *P* působí na klice *r*, která s ozubeným kolem *N* na jednom hřídeli upevněna jest. Zuby kola *N* zasahují do zubů kola *M* a otáčejí jím hřídel *O*, na který se provaz s břemenem *Q* natáčí. Mají-li se podmínky rovnováhy na tomto stroji ustanoviti, třeba jen sledovati břemeno, jak působnost jeho z hřídele *O* na hřídel *C* přechází aneb jak se působnost síly klikou na hřídel *O* převádí. Zub *B* na kole *M* třeba jen považovati za prodloužené rameno páky *AOB*, z čehož následuje, že působnost břemena na tomto zubu tolikrát menší jest, kolikráte poloměr ozubeného kola *BO* větší jest než poloměr hřídele *AO*. Jelikož tato zmíněná působnost břemena na kolo *M* břemenem jest pro ozubené kolo

Obraz 146.



N, snadno se ustanoví, jaká síla je na klice r v rovnováze držeti může. Velikost síly na klice bude pro rovnováhu stroje tolikráte menší než na ozubených kolech v bodu B působící zmenšené břemeno, kolikráte poloměr přiloženého kolečka BC menší jest než délka kliky r. Kdyby na př. poloměr hřídele O 3″ a poloměr kola 12″ velký byl, bylo by břemeno působící na kole v bodu B 4krát menší než Q. Je-li poloměr přiloženého kolečka 3″ a klika 15″, tedy pětkráte tak velká, musí síla P pětkráte menší býti než působnost břemena v B, t. j. než čtvrtina jeho. Síla P bude tedy $^1/_{20}$ Q obnášeti, aby působíc na klice rovnováhu na stroji udržovala, t. j. pro rovnováhu upotřebilo by se síly 20kráte menší než břemeno jest, a naopak by udržovala síla v rovnováze břemeno dvacetkráte větší než sama jest. Kdyby na př. břemeno 200 lb. obnášelo, bylo by pro rovnováhu potřebí síly 10 lb.; působí-li člověk silou 25 lb., udrží na hřídeli břemeno 20 . 25 lb. = 500 lb. těžké.

Má-li se však na vykonanou dráhu ohled bráti, snadno se přesvědčiti, že břemeno Q současně zase 20krát menší dráhu koná nežli síla. Považíme-li totiž, že poloměr, tedy i obvod hřídele O čtyřikráte menší jest než poloměr a následovně i obvod kola M, a že se kolo vždy současně s hřídelem otáčí, vysvítá, že na př. bod B čtyřikrát tak velkou dráhu vykoná jako bod A hřídele O. Kolo N musí právě takovou dráhu konati jako kolo M, protože se zuby vespolek v celek vážou. Jelikož klika r pětkrát tak velká jest jako poloměr kola BC, koná síla P na klice pětkrát tak velkou dráhu jako každý zub kol, následovně 20krát tak velkou jako břemeno Q. Z toho jest patrno, že i zde známý zákon o rovnosti účinků svou platnost má *).

*) I zde se dá ukázati, že silou do stroje přenesený účinek právě tak velký jest jako strojem na břemeně vykonaná práce. Pastorek N (obr. 146.) musí míti při dobrém zařízení na obvodu svém právě takovou rychlost jako kolo M, poněvadž zuby jeho do kola zasahují. Je-li rychlost zubů c, rychlost síly w a rychlost břemena v, $CB = r'$, $OB = R$ a $OA = R'$, bude $c : v = R : R'$ a $c : w = r' : r$, tedy

$v = \frac{R'}{R} c$, $w = \frac{r}{r'} c$ a z toho $\frac{v}{w} = \frac{r' . R'}{r . R}$, z čehož následuje, že

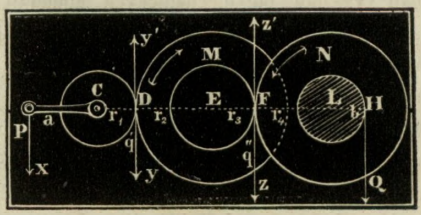
91. Předpokládáme-li tuto u páky vůbec již dokázanou větu o rovnosti výsledků čili mechanických momentů, možno i jednodušeji posuzovat zařízení strojů s ozubenými koly. Tak bychom v hořejším příkladu toliko poměr hřídele O s klikou r ustanovili, jako se to u rumpálu dělo. Rozdíl zde dělá jen soukolí čili přiložená kola M a N, jichž účel v tom záleží, aby se hřídel O s břemenem Q zdlouhavěji pohyboval, než by se to dělo, kdyby klika s tímto hřídelem bezprostředně spojena byla. Stane-li se tímto způsobem dráha břemena několikráte menší, musí břemeno právě tolikráte větší býti a naopak, aby se tím pravost zmíněné věty o rovnosti obapolně konané práce nerušila. Poněvadž při každém zazubení kol na obou částech zuby co možná stejné býti musí, aby dobře do sebe zasahovaly, vysvítá, že počet zubů na jednom kole právě tolikrát větší bude než na druhém, kolikráte obvod, následovně i poloměr na jednom kole větší jest než na druhém. Tak by v přiloženém příkladu kolo N čtyřikráte s klikou oběhnouti musilo, než se kolo M jednou otočí, poněvadž $BO = 4.BC$, tedy kolo M čtyřikrát tak velký obvod, následovně i čtyřikráte tolik zubů míti musí jako kolo N. Z toho následuje, že se k ustanovení tohoto poměru na hotových strojích *výhodněji počtu zubů kol užívá, než poloměrů jejich*, poněvadž se zuby snáze spočítati nežli poloměry odměřiti dají.

Kdyby se druhým hřídelem čili upotřebeným soukolím, jako jest M a N na obraze 146., žádoucí poměr síly k břemenu uskutečniti nedal, může se ještě jednoho aneb i více hřídelů čili soukolí upotřebiti, jak to již i u spojování kol a hřídelů řemeny řečeno bylo. Stanovení podmínek rovnováhy děje se jako u pák, poněvadž kola v rovnováze zuby svými co páky působí a následovně se také vždy v působnosti této pákami nahraditi dají. Obraz 147. znázorňuje nám dvoje soukolí CM a EN, jichž zuby tam do sebe zasahují, kde se kruhy vespolek stýkají. Jsouf to tedy kruhy, ve kterých se zuby na kolech zhotovují. Je-li klika

---

$\frac{P}{Q} = \frac{r'.R'}{r.R} = \frac{v}{w}$ čili $P.w = Q.v$, t. j. účinek síly tak velký jest jako účinek břemena.

Obraz 147.



a rameno síly, jest na témž hřídeli $CD = r_1$ rameno břemena. Na hřídeli M jest $ED = r_2$ rameno síly a $EF = r_3$ rameno břemena, a na hřídeli N jest $LF = r_4$ ramenem síly a $LH = b$ ramenem břemena. Pro rovnováhu postačovala by také jen tato ramena, a všecko ostatní na kolech jeví se co zbytečné. Kolo M působí totiž v bodu D na páku CD co břemeno q' ve směru y; kolo C působí v témž bodu na páku ED co síla q' ve směru y'; taktéž jest kolo N v bodu F břemenem q'' pro kolo M ve směru z, kdežto právě v tomto bodu ve směru protivném z' kolo M silou jest pro kolo N. Jestiť tedy

$$P : q' = r_1 : a$$
$$q' : q'' = r_3 : r_2$$
$$q'' : Q = b : r_4 \text{ a z toho}$$
$$P : Q = b.r_1.r_3 : a.r_2.r_4.$$

Jako svrchu u kotoučů opásaných jest i zde poměr síly k břemenu takový, jako součin ramen břemena k součinu ramen síly. *Vůbec platí u zazubených kol všecko, co svrchu* (89.) *o kotoučích řemeny opásaných řečeno bylo*, poněvadž pro rovnováhu jednostejné jest, zdali se síla z jednoho kola na druhé řemenem přenáší aneb zdali jedno kolo na druhé bezprostředně zuby svými působí. Jelikož zuby kol, které do sebe zasahují, stejné velikosti býti musí, možno vždycky z počtu zubů kol na velikost obvodů a poloměrů jejich souditi a naopak. Proto platí o zubech kol totéž, co tam o obvodech jejich řečeno bylo. Tak znamená na př. poměr 1 : 3, že jedno kolo třikrát tak velký obvod má jako druhé, že tedy i třikrát tolik zubů obsahovati musí jako druhé; má-li na př. menší kolo 10 zubů, musí jich větší kolo 30 míti. Jen rozličné ohledy a okolnosti rozhodují,

kolik zubů se kolečku menšímu, které se obyčejně *pastorek* (Getriebe) nazývá, dáti má. Ovšemť by se mohla i opáčně pro kolo libovolná velikost bráti a z této pak velikost pastorku odvozovati *).

Má-li se tlak na osy ustanoviti, třeba jen uvážiti, jak velké síly a v jakých směrech na hřídele působí, k čemuž se i váha kol a hřídelů připočísti musí. Při kolech ozubených působí taková síla q' (obr. 147.) na tlak, jaká se z jednoho hřídele na druhý přenáší. Jinak se to má u řemenů, provazů a p., kde se z hřídele na hřídel jen tolik síly přenáší, oč napnutí řemenu S (obr. 144.) strany DE větší jest než napnutí řemenu s druhé strany AB, kdežto předc oboje napnutí $S+s=q$ tlak na osy ustanovuje. Z toho vysvítá, že $q>q'$ býti musí, t. j. působení sil na osu při kolech ozubených menší než při kolech řemeny spojených, tak že kola ozubená *v tomto ohledu* výhodnější jsou *).

---

*) Jednoduchý obrat svrchu uvedeného výrazu pro rovnováhu ukazuje, že se místo poloměrů i počet zubů do počtu bráti může. Vyznačí-li se totiž písmenem z a z' délka oblouku, který zub se svým prázdným mezizubím vždy při dvou kolech obsahuje, a je-li n_1, n_2, n_3 a n_4 počet zubů postupně do sebe sáhajících kol, tedy $2\pi r_1 = n_1.z$, $2\pi r_2 = n_2.z$ $2\pi r_3 = n_3.z'$, $2\pi r_4 = n_4 z'$, a t. d., bude

$$\frac{P}{Q} = \frac{b.r_1.r_3}{a.r_2.r_4} = \frac{b}{a}\cdot\frac{2\pi r_1}{2\pi r_2}\cdot\frac{2\pi r_3}{2\pi r_4} = \frac{b}{a}\cdot\frac{n_1.z}{n_2.z}\cdot\frac{n_3.z'}{n_4.z'} = \frac{b}{a}\cdot\frac{n_1}{n_2}\cdot\frac{n_3}{n_4}.$$

Jelikož první poměr $b:a$ přirozenost síly a břemena ustanovuje, může se při zařizování soukolí poměr tento s poměrem sil složiti, tak že pak všeobecně jest $\frac{Pa}{Qb} = \frac{n_1}{n_2}\cdot\frac{n_3}{n_4}\cdot\frac{n_5}{n_6}\cdot\frac{n_7}{n_8}\cdot\ldots = \check{C}$.

Z toho vysvítá, že se velikostí a přirozeností sil daný poměr $(Pa:Qb) = \check{C}$ na libovolný počet menších poměrů rozložiti, tedy i libovolným počtem soukolí uskutečniti může. Vůbec jest to tolikráte možno, kolikráte se číslo $\check{C}$ na dva rozličné činitele rozložiti dá.

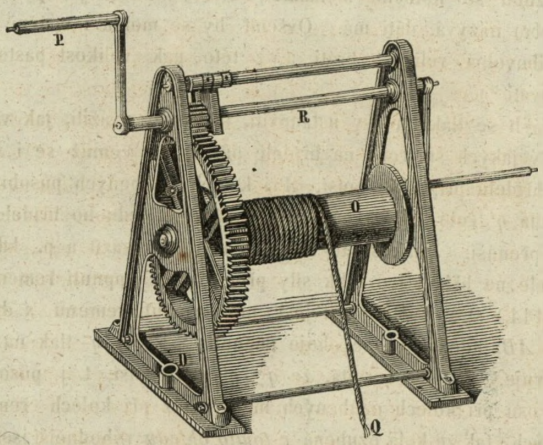
**) Tlak tento jest tenkráte největší, když síly rovnoběžné směry mají, a sice u kol ozubených (obr. 147.)

na hřídeli C bude $T' = P+q' = P+\frac{a}{r_1}P = \left[1+\frac{a}{r_1}\right]P$,

na hřídeli E bude $T'' = q'+q'' = q'+\frac{r_2}{r_3}q' = \left[1+\frac{r_2}{r_3}\right]q'$ a

na hřídeli L bude $T''' = Q+q'' = Q+\frac{b}{r_4}Q = \left[1+\frac{b}{r_4}\right]Q$.

Obraz 148.



92. Krásný příklad takového upotřebení kol k zvětšení poměru síly k břemenu poskytuje nám *anglický zdvihací stroj* čili *anglické zdvihadlo*, vyznačené na obr. 148. V podstatě to není nic jiného než potřebám skutečného života přiměřené spojení dvou hřídelů s ozubenými koly, jaké již na obr. 146. viděti bylo. Hřídel *R*, ku kterému klika *P* přidělána jest, přenáší působnost upotřebené síly na ozubené kolo hřídele *O* a tím i na tento hřídel sám. Provazem, který jedním koncem k hřídeli *O* upevněn jest, přechází působnost síly i dále, na př. udržuje se břemeno *Q* v rovnováze anebo se zvedá nahoru. Aby zároveň i dvá lidé účinkovati mohli, přidělávají se k hřídeli *R* dvě kliky, jak přiložený obraz ukazuje. Otvor *D*, který na každé straně podstavce viděti jest, slouží k tomu, aby se stroj, když třeba, k podlaze připevniti, na př. šrouby přitáhnouti mohl. Celý stroj se dělá ze železa, jen hřídel *O* bývá někdy ze dřeva; je-li ze železa, dělá se dutý. Postranice jsou z litiny a spojují třemi tyčemi z kovaného železa, z nichž dvě dole a jedna nahoře

---

Vezme-li se k snadnějšímu přehlédnutí u kol opásaných ten případ, že výslednice z obojího napnutí řemenů *S* i *s* a upotřebená síla rovnoběžné směry mají, obdržíme pro hřídel *O* $T_1 = P+q = P+S+s$. Pro hřídel O_1 jest to výslednice z napnutí všech řemenů. Podobně by bylo u O_{11}.

jest, oba hřídele v jeden celek. Na hořejší tyči jest upevněna základka, která do zubů zasahuje a se o ně opírá, aby zvednuté břemeno zpět padati nemohlo, když síla působiti přestala. Mimo to visí na této tyči železné raménko, které při práci pastorek s kolem ve spojení udržuje. Má-li se provaz s kladkami aneb i s břemenem s hůry rychle dolů pustiti, možno zvednutím tohoto raménka a pošinutím hřídele *R* pastorek z kola vystrčiti a hřídel *O* tak zcela uvolniti. Obyčejně se přidává k stroji ještě umělá zavírka, aby se břemeno v žádoucí rychlosti dolů pouštěti, a kdyby to potřeba žádala, v každé výši zachytnouti a držeti mohlo. Vůbec jest všecko tak zařízeno, aby se stroj v dílech přenášeti a všude zase snadno sestaviti dal.

Podmínky rovnováhy ustanoví se tak, jak se to nahoře (90.) stalo. Kdyby tu ozubených kol nebylo, byla by upotřebená síla v rovnováze tolikráte menší než břemeno, kolikráte poloměr kliky *P* větší jest než poloměr hřídele *O*. Tento poměr se změní přidanými koly, a sice stane se ještě tolikráte větší, kolikráte počet zubů hřídele *R* v počtu zubů hřídele *O* obsažen jest. Rozumí se samo sebou, že by se k účelu tomuto i poloměry těchto kol porovnávati mohly; než neděje se to na hotových strojích tak snadno a tak určitě, jako se zuby jejich spočísti dají. Kdyby na př. poloměr kliky 16″ a poloměr hřídele *O* 4″ velký byl, mohlo by již břemeno 4krát větší býti než síla. Má-li však, jak to obyčejně bývá, pastorek asi 10, kolo však asi 70 zubů, tedy 7krát více, zvětší se ještě právě tolikrát hořejší poměr síly k břemenu, tak že se tím břemeno 28krát tak velké stane jako síla, aby se na stroji rovnováha udržovala. Co svrchu (91.) řečeno bylo, platí tedy i zde, tak že břemeno v rovnováze tolikráte větší bude než síla, kolikráte součin ramen síly větší jest než součin ramen břemena. Všeobecně

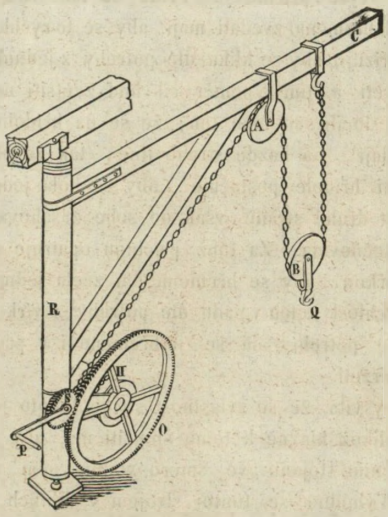
$$P : Q = b.r_1 : a.r_2 = b.n_1 : a.n_2.$$

Jedná-li se o zařízení stroje, třeba především k tomu přihlížeti, aby klika přiměřené délky byla a hřídel potřebnou pevnost měl. Jsou-li tyto částky stroje přiměřeně ustanoveny, musí se soukolí tak zaříditi, aby doplňovalo, čeho se do žádoucího poměru ještě nedostává. Kdyby se na př. stroj tak uspořádati měl,

aby na něm $P : Q = 1 : 20$ bylo, a pro kliku se délka 15″, pro poloměr hřídele 3″ vzala, tedy klika 15″ : 3″ = 5kráte větší než poloměr hřídele, musilo by kolo čtyřikrát tak velké býti jako pastorek jeho, musilo by tedy čtyřikráte tak velký poloměr a následovně i čtyřikráte tolik zubů míti, aby se žádoucí poměr uskutečnil. Bylo by pak $P : Q = 1 : 20 = 1.1 : 5.4$. Nyní to záleží na nás, jaký poloměr pastorku dáti chceme, dáti můžeme aneb i dáti musíme, aby klika pro člověka v přiměřené výši stála a praktickému požadavku se vyhovělo. Aby se na tomto stroji ještě větší poměr síly k břemenu uskutečniti dal, přidělává se klika *P* k ose hřídele *O*. Hřídel tento jest pak na ose jen navlečen, tak že se osa bez hřídele a naopak hřídel bez osy sám o sobě otáčeti nemůže. K této ose jest na pravé straně přiděláno ozubené kolo, jiné též na této straně k hřídeli *R*, která do sebe zasahují, tak aby klika kolem svým hřídel *R* otáčela, který pastorkem na levé straně druhé kolo a tím i s ním spojený hřídel *O* pohybuje. Poměr síly k břemenu, který se návodem hořejším ustanovil, stane se tímto zařízením ještě tolikráte větší, kolikráte kolo na ose kliky více zubů má než na hřídeli *R*.

Asi před třidceti lety rozšířil se tento stroj z Anglicka do Francouz a odtud do ostatní Evropy. Jednak velikost poměru síly k břemenu, která se na stroji tomto uskutečniti může, jednak i pohodlné zařízení stroje, poněvadž se snadno v částech přenášeti a všude postaviti dá, jest příčinou, že se ho v životě průmyslném velmi zhusta užívá, jmenovitě tam, kde jindy vůbec stožáru potřebí bývalo, tak že se stožár vždy řídším stává. Vede-li se provaz, kterým se působnost síly dále přenášeti má, po nehybné kladce, dá se stroje tohoto výhodně upotřebiti k zvedání břemen do výšky; zvláště když se k tomu kladkostrojů použije, stane se téměř nejspůsobilejším k takovým pracím. Z týchž příčin dá se s ním s prospěchem spojiti kladkový stojan na obr. 111., když se provaz na hřídel tohoto stroje navinuje. Neméně výhodně zadělává se do stojanu zdvihadla rumpálového (obr. 141.), staví se nad šachtami a studnami místo obyčejného rumpálu a j.

Obraz 149.



93. Důmyslné spojení stroje tohoto s kladkou ukazuje nám pro podobu stojanu svého tak zvaný *jeřáb* (Kranich, obr. 149.). K stojatému hřídeli *R*, který se na kolmých osách v kruhu pohodlně otáčeti dá, přidělává se silné rameno *C*, na kterém nehybná kladka *A* zavěšena jest. Aby se i větší břemeno tímto strojem zvedati mohlo, užívá se k tomu také kladky hybné *B*. Provaz čili řetěz, na kterém kladka s břemenem visí, upevňuje se koncem svým na hřídel *H* zmíněného složeného rumpálu. Háky, na kterých kladka *A* a druhý konec řetězu visí, mohou se dle okolností a potřeby na rameně *C* do náležité polohy pošinouti. U břemen menších užívá se výhodněji provazu než řetězu. Že by se stojan tento i s jednoduchým rumpálem spojiti dal, kdyby totiž klika *P* k hřídeli *H* bezprostředně přidělána byla, rozumí se samo sebou. V případech však, když poměr síly k břemenu, který se soukolím *S* a *O* uskuteční, dosti velký není, přidává se ještě jeden hřídel.

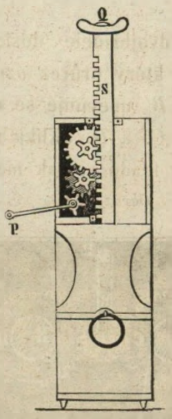
Co se podmínek rovnováhy týká, netřeba jich zde zvláště vyvinovati, poněvadž zde všecko platí, co již v 90. . 92. řečeno bylo, a upotřebení kladek z hořejšího také již známo jest. Jelikož rovnost účinků čili tak zvaných momentů mechanických jak u hřídelů, tak i u kladek nahoře již dokázána byla, nemůže zde o tom pochybnosti býti, tak že také na jeřábu břemeno *Q* při skutečné práci právě tolikráte menší dráhu koná, následovně i zdlouhavěji se pohybuje než síla, kolikráte větší jest než tato. To jest také příčinou, že se na jeřábech, kde se více hřídelů upotřebí, sice velká břemena zdvihati mohou, že však to dlouho

trvá, než do náležité výše přicházejí. Proto se také často, zvláště když se i menší břemena zvedati mají, aby se to rychleji dělo, stroje tyto tak zařizují, aby se klika dle potřeby z jednoho hřídele na druhý přenášeti a tím i poměr sil buď zvětšiti neb zmenšiti mohl. Z části docílí se toho tím, že se na hřídelích kola dvojích poměrů dělají, na každé straně jiné, tak že pak jen jednoduché pošinutí hřídele postačuje, aby se kola jedné strany rozstupovala, na druhé straně však do sebe zasahovala a tím jiný poměr uskutečňovala. Za touž příčinou opatřuje se stroj tento zvláštní zavírkou, aby se břemena jen zcela jednoduše dolů pouštěti a rychlost jejich v pádu dle potřeby zavírkou říditi mohla. Když toho potřebí, dá se jí břemeno i v pádu svém v libovolné výši držeti.

Z toho ze všeho vysvítá, že se zvláštnost stroje tohoto jen v účeli jeho zakládá, jelikož hlavně k tomu sloužiti má, aby se zvednuté břemeno otočením stojanu ve směru vodorovném na jiné místo přenášelo. Výhodně se tímto strojem v dílnách, v slévárnách a vůbec v továrnách těžké věci na vozy nakládají a s nich skládají. Zvláště důležitý jest na břehách mořských a u velkých řek, kde se jím zboží na lodě nakládá a zase z lodí na vozy skládá. Břemeno se totiž jeřábem z vozu zvedne a stojan tak otočí, aby rameno jeho *C* tak zvaný *zoban* s břemenem nad vodou a vůbec nad místem v lodi stálo, kde se složiti má. Opáčně se zase lodní náklad nahoru zvedne a nahoře tak otočí, aby nad vozem stál, na který se pak zase zcela jednoduše spustiti může. Rozličná potřeba dává stroji tomuto i rozličnou podobu; ano upotřebuje se dle okolností i rozličných sil, aby na něm účinkovaly, jako síly parní, vodní a t. d. I zde se musí při vykonané práci na značnou ztrátu vynaloženého na stroj účinku počítati, která pravidelně 50%, tedy celou polovinu jeho obnášívá.

94. Jiné upotřebení velkého poměru síly k břemenu, kterého se zazubenými hřídeli docíliti dá, ukazuje nám *vozní zvedák s klikou* (obr. 150.). V pevném stojanu, který železnými patami opatřen jest, aby se všude opříti mohl, nachází se několik ozubených hřídelů s klikou a s ozubenou tyčí. Břemeno *Q* spočívá

Obraz 150.



na ozubené tyči *S*, která se s ozubeným hřídelem pohybuje. Ozubené kolo tohoto hřídele zasahuje do zubů druhého hřídele, jehož kolo se konečně třetím hřídelem, s kterým klika spojena jest, také zuby otáčeti dá. Aby se břemeno v každé výši, na kterou strojem zvednuto bylo, samo udržovalo, přidělává se k stojanu jeho zvláštní hřeben se základkou, anebo používá se některého kola jeho co hřebene. Podmínky rovnováhy ustanoví se právě tak, jako se to u hřídelů se soukolími anebo u složené páky dělo. Břemeno působí pomocí tyče *S* na ozubeném hřídeli, a bylo by tolikráte větší než síla, kolikráte klika, na které síla *P* působí, větší jest než poloměr tohoto hřídele, kdyby tu druhých kol nebylo. Působením více kol musí se však břemeno ještě zvětšiti, aby rovnováha byla. Přiloží-li se k ozubenému hřídeli kliky ještě jeden ozubený hřídel, porovná se zprvu zase poloměr kliky s poloměrem hřídele, na kterém ozubená tyč *S* spočívá. Tento poměr stane se druhým hřídelem ještě tolikráte větší, kolikráte kolo jeho tolik zubů má co hřídel kliky. Kdyby se ještě jednoho soukolí upotřebiti mělo, jako to na obraze 150. viděti jest, zvětšil by se poměr druhým hřídelem zvětšený třetím hřídelem ještě jednou. Bylo by jako svrchu vůbec

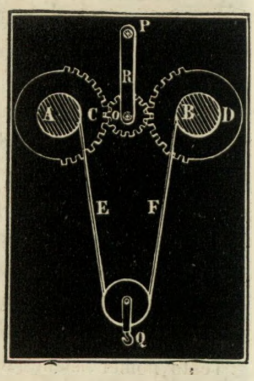
$$P : Q = b.r_1.r_3 : a.r_2.r_4 = b.n_1.n_3 : a.n_2.n_4.$$

Je-li na př. poloměr kliky 12″ a poloměr hřídeliku, na kterém železná tyč *S* spočívá, 2″ velký, požadovala by rovnováha břemeno 6krát tak velké jako jest síla. Má-li však jedno kolo pětkrát, druhé čtyřikrát tolik zubů jako přiložený mu hřídelík, do jehož zubů zasahuje, musí se zmíněné břemeno co šesteronásobné síly pětkrát, tedy 30krát tak velké státi jako jest síla, a toto ještě čtyřikráte vzíti, aby se rovnováha uskutečnila. Celkem se dá tedy na tomto stroji břemeno 6.5.4 = 120krát větší než jest upotřebená síla v rovnováze udržeti, t. j. strojem tímto se $P : Q = 1 : 120$ uskutečňuje. Librou síly se vyrovnává následovně 120 liber břemena. Není-li poměru tak velkého potřebí,

mohou se místo tří i jen dva hřídele bráti, což stroj značně zjednodušuje.

95. Ozubenými koly dá se i výhod dvojhřídele dosíci, jak to již z přiloženého obrazu 151. vysvítá, který průřez *ozubeného dvojhřídele* znázorňuje. Hřídel *A* a *B* upevňuje se na zvláštní osu a opatřuje ozubeným kolem *C* a *D*. Klika *R*, na jejíž ose ozubené kolečko *O* se nalezá, klade se tak mezi oba dva hřídele, aby ozubeným kolečkem do zubů obou kol zasahovala. Provaz s hybnou kladkou musí se na tyto hřídele ve směrech protivných, t. j. tak upevniti, aby se na jeden natáčel a s druhého soudobně stáčel, jako se to na *dvojhřídeli* (obr. 142.) dělo. Jsou-li průměry hřídelů aneb průměry ozubených kol nestejné, musí se hybná kladka s břemenem *Q* dolů aneb nahoru pohybovati, jelikož se na př. větší část provazu v *E* stáčí, než se ho soudobně v *F* na hřídel natáčí a naopak. Má-li síla *P* kliku *R* k pravé straně otáčeti, působí $^1/_2Q$ napnutím provazu *F*, který se s hřídele *B* stáčí, ve směru síly, kdežto se tím provaz *E* na hřídel *A* natáčí a napnutím svým $^1/_2Q$ co břemeno na něm účinkuje.

Obraz 151.



Aby se podmínky rovnováhy ustanovily, třeba jen působnost provazu *F* přenesti z hřídele *B* na zuby kola jeho *D*, následovně i na zuby hřídele *O*. Taktéž se přenese působnost provazu *E* z hřídele *A* na zuby kola jeho *C*, tedy i kolečka *O*, tak že to pak tak vypadá, jakoby břemeno *Q* jen na obou stranách kolečka *O* v protivných směrech působilo. Působnost tato musí býti ze svrchu zmíněné příčiny nestejná, poněvadž by se jinak strojem žádná práce konati nemohla. Jen to, oč břemeno *Q* na jedné (v tomto příkladě na levé) straně kolečka *O* více působí než na druhé, jest břemenem pro sílu *P*, která tolikráte menší býti musí než rozdíl těchto působností břemena na kolo *O*, kolikráte klika větší jest než poloměr kola. Rozdíl této dvojí pů-

sobnosti břemena na kolo O závisí od poměrné velikosti hřídelů a kol. Jelikož se hřídele A a B a s nimi ozubená kola C a D v libovolné velikosti zaříditi dají, může se rozdíl tento vždy tak velký udělati, aby při břemeně i sebe větším působnost síly jednoho aneb dvou lidí k práci dostačovala *). Z těchto příčin jest možno stroje tohoto k zvedání i největších břemen použiti.

96. Potřeba ozubených kol bývá v životě praktickém velmi rozmanitá, tak že všecky možné případy ani vypočítati nelze. Jmenovitě bývají ozubená kola u žentourů nevyhnutelná, poněvadž se práce koňů a volů jen zřídka v takové podobě a na takovém místě užiti dá, jak a kde nám ji žentour poskytuje. Někdy řemeny, obyčejně však ozubenými koly a hřídeli přenášívá se působnost síly na jiná místa. Za voje R (obr. 152.) za-

*) Pro snadnější přehled může nám značiti R poloměr kliky a r poloměr kolečka O, R' poloměr kola C a r' poloměr hřídele jeho A, R'' poloměr kola D a r'' poloměr hřídele jeho B. Vyznačí-li se působnost břemena Q na zuby kola O, povstalá z napnutí E písmenem p' a povstalá z napnutí F písmenem p'', jest

$$p' : \frac{Q}{2} = r' : R' \text{ a } p' = \frac{r'}{R'} \cdot \frac{Q}{2},$$

$$p'' : \frac{Q}{2} = r'' : R'' \text{ a } p'' = \frac{r''}{R''} \cdot \frac{Q}{2}.$$

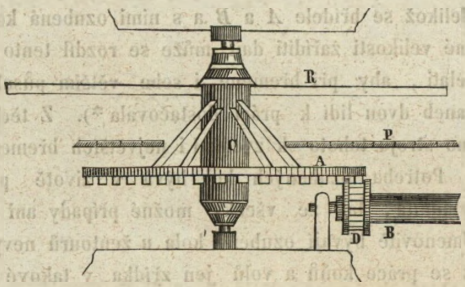
Pro rovnováhu potřebí, aby $P.R + p''.r = p'.r$ čili $P = \frac{r}{R}(p' - p'')$ bylo. Rozvede-li se výraz tento, obdržíme

$$P = \frac{r}{R}\left[\frac{r'}{R'} \cdot \frac{Q}{2} - \frac{r''}{R''} \cdot \frac{Q}{2}\right] = \frac{r}{R}\left[\frac{r'}{R'} - \frac{r''}{R''}\right]\frac{Q}{2},$$

z čehož patrno jest, že velikost síly od poloměrů kol a hřídelů závisí. Jsou-li však kola C a D stejně velká, tedy $R' = R''$, zjednoduší se to v $P = \frac{r}{R}\left[\frac{r' - r''}{R'}\right]\frac{Q}{2} = \frac{r}{R'}\left[\frac{r' - r''}{2R}\right]Q$. Jelikož se místo $\frac{r}{R'}$ i poměr zubů těchto kol n a N klásti může, t. $\frac{r}{R'} = \frac{n}{N}$, jest také zvláště k snadnějšímu posouzení hotového stroje $P = \frac{n}{N}\left[\frac{r' - r''}{2R}\right]Q$.

Z toho jest patrno, že velikost síly P od $(r' - r'')$ závisí, t. j. od rozdílu poloměrů hřídelů A a B, že se tedy libovolně zmenšiti dá a žeby konečně pro $r' = r''$ žádné síly potřebí nebylo, kdežby se ovšem strojem tímto také žádná práce konati nedala.

Obraz 152.



přažený kůň otáčí toliko hřídel *C*. Aby se účinek tento dále převáděl, přidělává se k hřídeli ozubené kolo *A*, tak zvaný *hřebenáč* (Rammrad), které do cev kladnice *D* zasahuje a s ni spojený hřídel *B* otáčí. Poloha hřídele a ozubeného kola řídí se potřebou a místností. Obyčejně bývá voje dole upevněno, kolo však nad ním nahoře; ale již pouhý pohled na přiložený obraz ukazuje, žeby to jedno bylo, kdyby se dle potřeby ozubené kolo s kladnicí i pod podlahou rejdiště, tedy v zemi ukrývalo. *P* značí zde podlahu, po které koně v tahu chodí. Jako nahoře daly by se i zde podmínky rovnováhy snadno ustanoviti. Kdybychom si představili, že se břemeno na provaze na hřídel *B* natáčí, bylo by jen potřebí, aby se délka voje *R* porovnala s hřídelem *B*. Poměr tento změní se pak ještě poměrem kol; stanet se totiž tolikráte menším, kolikráte hřebenáč *A* tolik zubů má co kladnice *D* cev. Kladnic se užívá vůbec tenkráte, když se větší poměr sil uskutečniti má. Bývá u kladnice 1 : 8 až 1 : 12 i více.

Dříve se dělalo kolo naskrze ze dřeva a ve velikých rozměrech, jak to přiložený obraz znázorňuje. Kde vody nebylo, byl žentour tento dlouhý čas téměř jediným strojem, kterým se větší práce konati mohly. Počet koňů řídil se potřebou; mívalť žentour i 6 ramen po dvou koních. Od 30 let nahražují se na jedné straně parou, mezitím co se na druhé straně zase nové tvoří, jako u strojů hospodářských. V novější době se podoba žentouru značně změnila. Jelikož dřevo čím dále vzácnější, práce ze železa naproti tomu dokonalejší a trvanlivější jest, užívá se

nyni téměř naskrze kol železných. Poněvadž novější pokroky v strojnictví ukázaly, že veliká kola s kladnicí méně výhodná jsou, užívá se místo jednoho velkého kola raději více kol menších. Nyní, kde se žentourů tak zhusta užívá, dostalo se mu tak jednoduchého zařízení, že se téměř všudy bez zvláštních přípravních staveb, o kteréby se hřídel opírati měl, postaviti a z místa na místo bez velkých obtíží přenášeti dá. Žentourů se užívá k mlácení, k pohybování mlýnů, k čerpání vody, vytahování uhlí, zemin a j. z dolů, a t. d. K tomuto účelu přidělává se buď bezprostředně na hřídel hlavní jako *C*, aneb na jiný, který se kolem *A* pohybuje jako *B*, velký dutý buben, na který se provaz s břemenem natáčí. Obyčejně se upevňují dva ve směrech protivných, tak aby jeden kbelík čili truhlík vždy nahoru, druhý však současně dolů chodil, jelikož tím i svou váhou práci nápomáhá. Že se směr provazu nehybnou kladkou snadno měniti dá, jest věcí známou.

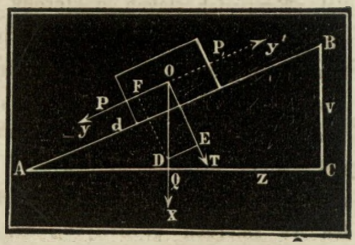
B. Stroje nakloněné plochy.

1. NAKLONĚNÁ PLOCHA.

97. Všecky stroje, o kterých až posud řeč byla, mají společný základ svůj v *páce*, kterou se síla *dle potřeby přenáší* a v účinosti své *řídí*, mírní a zmnožuje. Druhá polovice strojů liší se podstatně od páky tím, že sílu *rozkládají*. Aby tu rozklad vůbec možný byl, třeba vždy podpory, která k směru síly šikmou polohu má, tak že za touto příčinou všem těmto strojům *nakloněná plocha všeobecným znakem a základem jest*. Rozklad tento musí se vždy tak díti, aby jedna složka, působíc ve směru na plochu kolmém, se rušila, druhá však k jakýmkoli účelům se upotřebovala, aneb aby se tímto spůsobem těžká břemena toliko jednou částí jejich tíže překonávala, kdežto se druhá část její kolmým směrem na pevné podpoře sama ruší. Na tomto základě možno ustanoviti podmínky rovnováhy pro všecky zde možné rozličné případy.

Jako u páky působí i zde *tíže* na hmoty dříve než kterákoli jiná síla na ně působiti počala; odtud se stává nejobyčejnějším břemenem váha hmot, které se na nakloněné ploše v rovnováze držeti mají. Představme si k tomuto účelu na obraze 153. průřez nakloněné plochy *ABC*, na které se břemeno *Q* v rovnováze udržeti má. Je-li *O* těžiště hmoty, představuje nám *Ox* svislý směr tíže břemena *Q*. Má-li břemeno na ploše v rovnováze drženo býti, třeba napřed znáti sílu, která je podél plochy ve směru *y* dolů táhne, aby se silou tétéž velikosti v protivném směru *y'* rušiti mohla. Vyznačíme-li velikost tíže délkou *OD* a utvoříme rovnoběžník sil ve zmíněných směrech, t. j. kolmo a rovnoběžně s plochou, rozstoupí se tíže *OD* na dvě síly *OF* a *OE*, z nichž se *OE* pevností podpory ruší, *OF* však svou velikostí hmotu po ploše dolů táhne. Zbývá tedy jen složka $OF = P$, kterou se tíže hmoty *Q* na ploše vyznačuje, kterou se následovně i hmota po ploše dolů táhne a dolů padá, když tu zvláštních překážek není. Jistiť tedy *OF* velikost tíže hmoty *Q* vztahem na upotřebenou nakloněnou plochu. Za tou příčinou jest složkou *OF*, která se sklonem plochy rovnoběžně působí, tedy hmotu po ploše dolů táhne, vyznačena její *na zmíněnou plochu potažená* čili vůbec krátce *potažná* (relativní) *tíže*. Chceme-li mít rovnováhu, třeba jen sílu *P* silou protivnou zrušiti, tedy použiti síly *P'* tétéž velikosti ve směru protivném *y'*.

Obraz 153.



98. Kdybychom tuto úlohu na rozličně nakloněných plochách prováděli a stranicí *OF* znázorněnou potažnou tíži vždy s váhou hmoty, která délkou *OD* vyznačena jest, porovnávali, shledali bychom, že se potažná tíže hmot se sklonem ploch mění. Na ploše vodorovné není žádné potažné tíže; ona se teprv objevuje, když plochu poněkud zvedáme, a roste tím více, čím se výška plochy *v* zvětšuje, až se konečně na ploše kolmo postavené celé váze hmoty vyrovnává. Zákon, dle kterého potažná

tíže roste, pozná se z toho, že trojúhelník sil *DOF* vždy právě tu podobu má jako průřez nakloněné plochy *ABC*. Váha hmoty *Q* vyznačená délkou *OD* souhlasí docela s délkou plochy $AB = d$, a potažná tíže $OF = P$ souhlasí s výškou plochy $CB = v$, tak že se *OF* s *OD*, t. j. potažná tíže hmoty s váhou její tak mění, jako výška plochy $CB = v$ s délkou její $AB = d$. Počtářsky se tento zákon závislosti potažné tíže hmoty s *pouhou* (absolutní) *váhou* její vyznačí srovnalostí $P : Q = v : d$, t. j. *potažná tíže jest tolikráte menší než váha hmoty, kolikráte výška plochy v délce její obsažena jest.* Z toho následuje, že ani výška ani délka plochy sama o sobě, nýbrž že obě zároveň, t. j. porovnání čili poměr jejich poměr sil stanoví. Odtud patrno, že se snadno i složka na plochu kolmá *OE*, která velikost tlaku hmoty na plochu znázorňuje, ustanoviti dá, jelikož stranici *OE* čili *FD* vyznačená poměrná velikost její v trojúhelníku sil ve změnách svých u porovnání s ostatními zcela souhlasí se šířkou čili základnou nakloněné plochy $AC = z$. Pro tlak tento $OE = T$ jest tedy $T : Q = z : d$, t. j. on stojí vždy v takovém poměru k váze hmoty, v jakém jest šířka upotřebené plochy k délce její*).

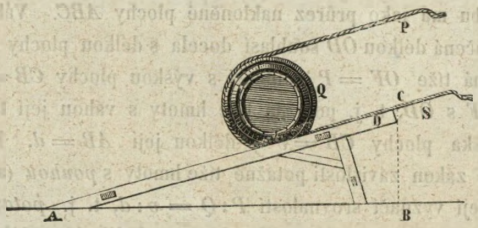
Má-li se ustanoviti, jaké síly potřebí jest, aby se na př. sud *Q* na koze v rovnováze udržel (obr. 154.), třeba jen délku kozy *AC* s výškou její *BC* porovnati, aby se ukázalo, kolikráte potažná tíže sudu menší jest než váha jeho, následovně i kolikráte síla *P* menší bude než břemeno *Q*. Z toho také již vysvítá, jak se koza a podobné nakloněné plochy zařizovati mají, aby se žádoucích poměrů docílilo. Má-li na př. potažná tíže hmoty jen čtvrtinu váhy její obnášeti t. j., má-li se hmota silou čtyřikráte menší než jest váha její na ploše udržovati, třeba jen

*) Zákon tento se jednoduše z té okolnosti odvozuje, že všecky stranice zmíněných trojúhelníků na sobě kolmo stojí, tedy $\triangle DOF \sim \triangle ABC$, z čehož následuje

$$\left.\begin{array}{l} OF : FD : OD = P : T : Q \\ OF : FD : OD = v : z : d. \end{array}\right\} \text{ tedy i } P : T : Q = v : z : d.$$

Z toho se ustanoví $P = \frac{v}{d} Q$ a $T = \frac{z}{d} Q$, což se úhlem gonymetricky jednodušeji vyznačuje, a sice $P = Q . \sin\alpha$ a $T = Q . \cos\alpha$.

Obraz 154.

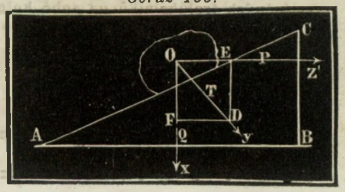


délku kozy čtyřikráte tak dlouhou udělati jako jest výška její. Na každý střevíc výšky musily by tedy přijíti vždy čtyři střevíce délky. Kdyby na takové koze na př. dvá lidé, každý silou 30 lb., tedy dohromady 60 lb., sud 6 centů = 600 lb. těžký držeti měli, jest daný poměr 60 lb. : 600 lb. = 6 : 60 = 1 : 10, tedy potřebí, aby se na každou stopu výšky 10′ délky bralo, čili krátce, aby délka plochy desetkráte tak velká byla jako výška její.

Tážeme-li se však po skutečné práci, která v zvedání hmoty záleží, shledáme hned, že síla právě tolikráte větší dráhu vykonati musí než břemeno, kolikráte menší jest než toto. Nebo má-li na př. síla 1 lb. břemeno 10 lb. v rovnováze udržovati, musí délka plochy desetkráte tak velká býti jako výška její, síla tedy při skutečné práci vždy deset stop dráhy vykonati, mezitím co břemeno o jednu ve výšce postoupí. Z věci samé tedy již vysvítá, že účinky na obou stranách sobě rovny jsou. Ostatně z $P : Q = v : d$ již následuje $P.d = Q.v$, t. j. síla násobená dráhou, kterou koná, čili účinek síly rovná se břemenu násobenému výškou, na kterou zvednuto bylo, čili účinku jeho.

99. Jelikož síla vždy rovnoběžně s délkou plochy působiti nemůže, nastává otázka, jak se v jiných případech podmínky rovnováhy ustanoviti dají; jmenovitě jest to velmi důležité, když síla se základnou č. šířkou upotřebené plochy rovnoběžně působí (obr. 155.). Tíže břemena

Obraz 155.



Q působí svisno ve směru x, síla P ve směru z. Má-li se působením těchto dvou sil rovnováha uskutečniti, nedá se to jinak mysliti, než aby výslednice jejich na plochu kolmý směr y měla a se tak pevností podpory své rušila. Vyznačí-li se váha břemena velikostí OF a utvoří rovnoběžník, jest $OE = P$ poměrná velikost síly, která je na nakloněné ploše v rovnováze udržuje. Jelikož se místo OE i jemu rovné FD bráti může, jest jako svrchu podobnost trojuhelníka sil DOF s nakloněnou plochou ABC patrna, t. $\triangle DOF \sim \triangle ABC$, poněvadž se s plochou zároveň a souhlasně ve všech částech mění. Poněvadž síla $OE = P$ s výškou plochy $= v$ a břemeno $OF = Q$ se základnou její ve změnách velikosti své stále souhlasí, jest síla (P) vždy tolikráte menší než břemeno (Q), kolikráte výška upotřebené plochy menší jest než šířka její, t. j.

$$P : Q = BC : AB = v : z.$$

Zároveň se objevuje z toho přímkou QD i velikost výslednice, která ukazuje, jaký tlak tím kolmo na plochu povstává. Jestiť tlak tento $QD = T$ souhlasný s délkou plochy, tedy $T : Q = d : z$. *)

Jako jsme dříve délku s výškou plochy porovnávali, abychom poměr sil ustanoviti mohli, tak musíme nyní základnu s výškou její porovnávati, aby se tím podmínka rovnováhy určiti mohla. Jelikož šířka plochy vždy menší býti musí než délka její, jest patrno, že se tímto spůsobem při ostatně stejných okolnostech vždy menší poměr sil uskutečňuje. Příčina tohoto zmenšeného poměru vysvětluje se i tou okolností, že síla, která by hmotu toliko podél plochy pohybovati mohla, v tomto směru nepůsobí, následovně se v účinku částečně ruší. Je-li na př. v tomto případu výška plochy dvanáctkráte menší než šířka její,

*) Počtářsky se to vyvine z podobnosti trojúhelníků $\triangle DOF \sim \triangle ABC$, z čehož následuje $P : T : Q = v : d : z$, tedy $P = \frac{v}{z} Q$ a $T = \frac{d}{z} Q$. Úhlem sklonu dá se tato věc jednodušeji vyznačiti, jelikož

$$P = Q \cdot \frac{v}{z} = Q \,.\, \text{tang}\,\alpha, \quad T = Q \,.\, \frac{d}{z} = Q \,.\, \text{sec}\,\alpha = \frac{Q}{\cos\alpha}$$

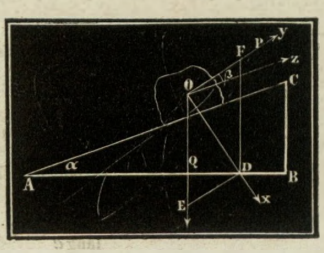
a $Q = \frac{P}{\text{tang}\,\alpha} = P \,.\, \text{cotang}\,\alpha$ jest.

bude síla dvanáctkráte menší než břemeno, aby se s ním v rovnováze udržovala. Naopak se musí plocha vždy na dvanácte stop šířky jednu stopu vysoká dělati, když na ní každá libra síly dvanácte liber břemena v rovnováze udržovati má. Chceme-li účinek síly s účinkem břemena porovnávati, třeba jen na to ohled bráti, že síla zde svou dráhu rovnoběžně se šířkou plochy koná, tak že šířka plochy dráhou síly, výška její však dráhou břemena jest. Rovnost mechanických momentů následuje také již z $P : Q = v : z$, jelikož $P.z = Q.v$ jest, t. j. součin ze síly a z dráhy, kterou při práci koná, tak velký jako součin z břemena a výše, na kterou bylo zvednuto.

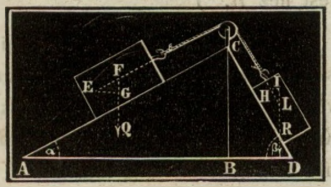
100. Mimo zmíněné dva směry sil, totiž rovnoběžný s délkou a se šířkou nakloněné plochy, dalo by se i nekonečné množství jiných mysliti, ve kterých síla působiti může, aby břemeno na nakloněné ploše v rovnováze udržovala. Podmínky rovnováhy ve všech těchto možných případech ustanoví se vždy na tom základě, že se tak velkých sil a v takovém směru upotřebí, aby se buď vespolek v rovnováze udržovaly, t. j. aby výslednice jejich nulou byla, buď aby kolmo na plochu působila a se tím rušila. Jelikož každé břemeno na nakloněné ploše svou potažnou tíží podél plochy dolů padá, jest patrno, že se tím účinek její zrušiti musí, aby se břemeno v rovnováze udržovalo. Z předešlého vysvítá, že k tomu tenkráte nejmenší síly potřebí jest, když upotřebená síla rovnoběžně s délkou plochy působí, poněvadž se v každém jiném směru z části ruší a tedy jen částečně účinkuje. *)

*) Značí-li všeobecně Oy (o. 156.) směr síly P, který se od sklonu plochy Oz o $\sphericalangle \beta$ odchyluje, ustanoví se podmínky rovnováhy na tom základě, že se výslednice ze síly P a z břemena Q ve směru kolmém Ox na ploše zrušiti musí. Vyznačí-li se velikost břemena přímkou OE, jest $OF = P$ a

Obraz 156.



Obraz 157.



Dle předešlého snadno ustanovíme poměr hmot, aby provazem spojeny jsouce na dvou rozličných nakloněných plochách v rovnováze se udržovaly (obr. 157.). Potřebí jen, aby síla, která hmotu Q po jedné straně plochy dolů táhne, právě tak velká byla jako síla, která hmotu R druhou stranou dolů žene, t. j. aby potažná tíže obou hmot sobě rovna byla. Jelikož potažná tíže, která při stejné výši CB obou ploch jen délkou jejich se řídí, a sice tím větší jest, čím kratší plocha se udělá a naopak, vysvítá, že jedna hmota právě tolikrát větší býti musí než druhá, kolikráte plocha, na které spočívá, delší jest než plocha hmoty druhé. Je-li délka plochy $CA = d$ a $CD = d'$, musí pro rovnováhu býti $Q : R = d : d'$. Ostatně jest i zde účinek jedné strany právě tak velký, jako účinek druhé strany; nebo přijde-li těžiště hmoty Q z bodu E do F, vystoupne hmota sama o GF výše mezitím co hmota R o IL hloub klesne, z čehož porovnáním trojuhelníků EFG a LIH, v nichž $EF = HL$ jest, snadno

---

tlak na plochu $T = OD$. V $\triangle ODF$ jest

$$P : Q = \sin ODF : \sin DOF = \sin \alpha : \sin (90+\beta) = \sin \alpha : \cos \beta,$$

následovně $P = Q \dfrac{\sin \alpha}{\cos \beta}$. Jelikož se odchylka směru $Oy = \measuredangle \beta$ v libovolné velikosti ano i v obou směrech, t. j. positivně i negativně, brátí může, objeví se všecky zde možné případy, tedy i ony dva hlavní, o kterých již svrchu mluveno bylo. Třeba jen vzíti jednou $\beta = 0$ a podruhé $\beta = -\alpha$.

Podobně se dá i tlak na plochu všeobecně vyznačiti; jestiť

$$T : Q = \sin OFD : \sin FOD, \text{ a jelikož}$$

$$\measuredangle OFD = 180 - (90 + \beta + \alpha) = 90 - (\alpha + \beta)$$

a $\measuredangle FOD = 90 + \beta$, jest také

$$T : Q = \sin [90 - (\alpha+\beta)] : \sin (90+\beta) = \cos (\alpha+\beta) : \cos \beta, \text{ tedy}$$

$T = Q \dfrac{\cos (\alpha+\beta)}{\cos \beta}$, z čehož se zase rozličné možné případy vyvoditi dají, když se velikost úhlu $\measuredangle \beta$ náležitě ustanoví.

se ukáže, že *LI* tolikráte větší jest než *FG*, kolikráte *Q* větší jest než *R*. *)

101. Tyto zákony vysvětlují nám rozličné výjevy v životě skutečném. Tak víme z vlastní zkušenosti, že to není jedno, člověk-li se po rovině prochází, s kopce kráčí aneb do kopce leze. Kráčí-li s vrchu, táhne jej jako každou jinou hmotu potažná tíže těla jeho dolů, pomahá mu v chůzi aneb jej, je-li dosti velká, i násilně dolů žene. Jde-li nahoru, působí tu tatáž síla jen že ve směru protivném, kterou on tedy vynaložením síly svalův svých překonati musí. Jestiť to asi tak, jakoby člověk břemeno váhy těla svého na tuto výši byl vynesl. Má-li však s sebou ještě něco nésti, jest to práce dvojí, jelikož mimo váhu těla svého i břemeno zvedati musí. Proto se vozy samy s kopců pohybují, kdežto se jen s tíží na kopce táhnou, voda teče v řekách a p.

Výhoda nakloněné plochy záleží v tom, že se na ní zvedání břemen neděje přímo, než že se hmoty po nakloněné ploše tak zvolna do výše táhnouti mohou, jak to potřeba žádá. Upotřebení praktické tohoto stroje vysvítá tedy již z přirozenosti jeho. Všude, kde přímo hmotu zvedati nemůžeme aneb nechceme, používáme nakloněné plochy, aby se zvedání jen zpovolna dělo, aby místo celé váhy hmoty jen potažná tíže její působila. Jelikož práce součin ze síly a z vykonané dráhy jest, můžeme při zvedání hmot plochu tak prodloužiti a tím tak slabě skloniti, aby drahou povstalý mechanický moment břemena účinek síly naší nepřesahoval. Vůbec se může sklon plochy vždycky i tak zaříditi, aby potažná tíže břemena menší byla než síla naše. Co okamžením aneb v krátké době možno není, stává se pomocí nakloněné plochy možným v době

---

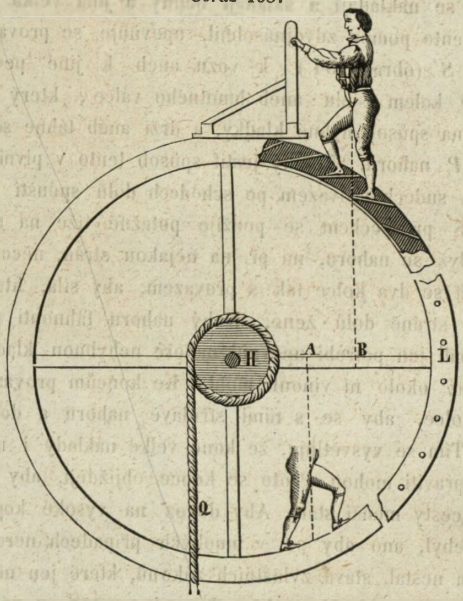
*) V rovnováze musí býti potažná tíže hmoty jedné strany právě tak velká jako potažná tíže hmoty druhé strany, tedy $Q.\frac{v}{d} = R.\frac{v}{d'}$, z čehož $Q : R = d : d'$. Jelikož zároveň $Q.\sin\alpha = R.\sin\beta$, jest také $Q : R = \sin\beta : \sin\alpha$. Poněvadž $EF = HL$, bude i $Q.EF\sin\alpha = R.HL\sin\beta$ čili $Q.GF = R.IL$, t. j. účinek na obou stranách stejný.

delší, když se to přiměřeným sklonem plochy dostatečně rozvede. Tak válíme na př. po koze těžké sudy na vůz a s vozu dolů; podobně se nakládají a skládají bedny a jiná velká břemena. Aby se tento poměr zdvojnásobnil, upevňuje se provaz jedním koncem *S* (obraz 154.) k vozu aneb k jiné pevné věci, ovine se kolem sudu aneb hmotného válce, který se zvedati má, na spůsob hybné kladky, a drží aneb táhne se druhým koncem *P* nahoru. Známý jestiť spůsob tento v pivnicích, kde se pivo v sudech provazem po schodech dolů spouští a nahoru táhne. S prospěchem se použije potažné tíže na nakloněné ploše, když se nahoru, na př. na nějakou stráň, něco vyvážeti má. Spojíť se dva kolce tak s provazem, aby síla, která jeden kolec se stráně dolů žene, druhý nahoru táhnouti pomáhala. K tomu cíli jen potřebí upevniti nahoře nehybnou kladku, aby se provaz okolo ní vinouti mohl. Ke koncům provazu upevní se oba kolce, aby se s nimi střídavě nahoru a dolů jezditi mohlo. Tím se vysvětluje, že koně velké náklady i na vysoké kopce dopraviti mohou. Proto se kopce objíždějí, aby se sklon čili svah cesty menší stal. Aby dovoz na vysoké kopce příliš obtížný nebyl, ano aby se v mnohých případech nerozumností nemožným nestal, stává zvláštních zákonů, které jen nějaký určitý sklon čili svah při stavbě silnic dopouštějí, u nás na př. 5% délky, tedy na 100′ délky 5′ výšky. Ještě mnohem důležitější jest to u železných drah, čímž se právě stavba jejich tak obtížnou stává.

102. Známá okolnost, že váha zvířecího těla daleko větší jest než síla, kterou na př. člověk, kůň a j. na strojích působiti může, přivedla přirozeně na myšlénku, že by se snad zvířecí síly výhodněji použilo, kdyby místo svalů zvířecího těla váha jeho na strojích působila. Odtud se naskytla i potřeba zvláštních strojů k tomuto účelu. Jelikož, jak svrchu zmíněno, kolo na hřídeli nejpřiměřenější jest, aby svalní sílu stále v práci obracelo, spojily se výhody jeho tak s nakloněnou plochou, aby potažná tíže zvířecího těla vůbec kolo na hřídeli otáčela. Z toho vysvítá, že *šlapací*, *běhací* a *sklonitá kola*, která takto povstala, svou podstatou kola na hřídeli jsou, s tím toliko rozdílem, že

tam na klice síla svalní, zde však na poloměru kola potažná tíže těla působí.

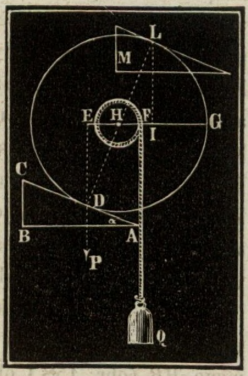
Obraz 158.



Nejpřiměřenější a nejpohodlnější vidělo se k tomu býti zprvu *běhací kolo* (Laufrad) (obr. 158.). Jak dolejší část obrazu ukazuje, skládá se z dvou věnců, které uvnitř prkny obloženy a asi 1½′ vzdálí vždy latěmi pobity jsou, aby se noha na nich pevně uchycovala. Rozumí se samo sebou, že věnec kola takovou šířku míti musí, aby se v něm člověk pohodlně pohybovati mohl, a že se poměrně i ještě širší dělá, když dvá aneb více lidí v něm podlé sebe kráčeti má. Aby pracovník v kole pohodlně i pod hřídelem *H* státi mohl, musí poloměr jeho alespoň 7′ velký býti. Kdyby se nějakého zvířete k tomu použiti mělo, musil by poloměr nejméně 12′ obnášeti, jelikož délka koně neb vola ostřejšího zakroužení nedopouští. Aby zvíře z kola vypadnouti a vyskočiti nemohlo, musí se potřebné příčky alespoň 4′ vysoké z obou stran ke kolu přidělati a zvíře ještě přivázati.

Abychom podmínky rovnováhy snáze ustanoviti mohli, představme si na obr. 159. průřez tohoto stroje, kde člověk v bodu *D* váhou těla svého s břemenem *Q* rovnováhu udržuje. Působiť zde na rameně $HD = r$ t. j. na poloměru kola potažnou tíží těla svého, která jej na nakloněném věnci kola dolů žene a tím kolo otáčeti se snaží. Značí-li *CA* sklon místa, na kterém člověk v kole stojí, jest *ABC* nakloněná plocha, po které v kole chodí. Z toho vysvítá, že člověk sice na velkém rameně *HD* páky *DHF*, avšak jen tolikátou částí váhy těla svého působí, kolikráte délka znázorněné nakloněné plochy *CA* větší jest než výška její *CB*. Bližší pozorování těchto podmínek rovnováhy ukazuje, že tu výsledek takový jest, jakoby člověk celou váhou těla svého na rameně *HE* páky *EHF* působil. Totéž by platilo, kdyby zvíře svou váhou kolo otáčeti mělo, poněvadž váha jeho co síla také jen v těžišti své působiště má, které si v bodu *D* aneb v přímce *ED* mysliti můžeme.

Obraz 159.



103. Jak přirozeno nedá se tímto spůsobem velkého poloměru docíliti, tedy poloměr *HE* značně zvětšiti, na kterém by váha celého těla působiti mohla, poněvadž zvířecímu tělu vůbec pro velký sklon nemožno bývá v kole příliš vysoko postupovati. Jelikož však člověk po schodech a po příčlích v každém svahu se udržovati, ano i ve směru kolmém postupovati může, sestrojilo se toto kolo i v ten spůsob, aby váha člověka na libovolném poloměru působiti mohla, zaděláním buď schůdků buď příčlů do věnců jeho. Jak to se schůdky na *šlapacím kole* (Tretrad) vypadá, možno poznati z hořejší části obrazu 158. I zde platí, co svrchu řečeno bylo, že se věnec se schůdky rozšířiti musí, když dva aneb více pracovníků vedle sebe našlapávati má. Mají-li se podmínky rovnováhy ustanoviti, může se to zase díti dvojím spůsobem, buď jak již uvedeno u kola běhacího nakloněnou plochou, buď jednoduchým přenešením síly na páku. Na-

šlapuje-li pracovník na kolo v bodu L (obr. 159.), působí sice na páce zastoupené celým poloměrem kola $HL = r$, děje se to však jen potažnou tíží těla jeho, která je na souhlasně skloněné ploše M dolů žene, tedy i tímto úsilím kolo otáčeti se snaží. Kdybychom velikost potažné tíže ustanoviti chtěli, jest potřebí, abychom si plochu s takovým sklonem představili, jaký věnec kola v místě má, kde na něj člověk našlapuje. Jestiť pak, jak již svrchu zmíněno, potažná tíže těla, která na kolo působí, tolikráte menší než váha jeho, kolikráte výška nakloněné plochy v délce její obsažena jest. Práce člověka na tomto stroji záleží v tom, že na ploše nakloněné pořáde dále kráčí a při tom potažnou tíži těla svého, která jej dolů žene, překonává. Jednodušeji se zase výsledek tento ustanoví, když se toliko na rameno HB (obr. 158.) ohled béře, na kterém celá váha člověka účinkuje, čímž stroj tento podstatou svou v kolo na hřídeli se mění *).

Odtud jde, že váha člověka co síla ani na kole šlapacím velkého ramena nemá, jelikož toto vždy jen nějaký díl poloměru jest. To bylo také příčinou, že se schůdky ve věnci šlapacího kola až do rovně s hřídelem kladly, aby se síle tak velkého ramena získalo, jako jest poloměr kola, t. HL (obr. 158.). Kolo takové mohlo se sice dosti široké dělati, aby se na něm, když potřebí, i více dělníků zároveň v práci účastnilo, poloměr jeho musel však býti menší, aby dělník z jednoho schůdku na druhý přestupovati mohl. Tak se ztrácelo na jedné straně, co se na druhé získalo. Aby se i velký poloměr podržeti mohl, hotovila se *kola s příčlemi*, jako nám je pravá strana obrazu 158. u L ukazuje, kde se člověk v práci na obou stranách věnce za

*) Z návodu počtářského jasněji vysvítá, že se stroj tento téměř za kolo na hřídeli s přiměřeným poloměrem považovati musí. Je li R poloměr kola a vezme-li se nakloněná plocha za základ, jest statický moment síly $P \sin \alpha . R$; považuje-li se však stroj co kolo na hřídeli kde celá váha člověka působí, jest tento moment $P.EH = P.R \sin \alpha$ Již pouhý pohled ukazuje, že $P \sin \alpha . R = P.R \sin \alpha$ jest, čímž se totožnost obou zmíněných případů objasňuje.

šprlata rukama drží a posloupně dále stoupá. Zachycuje-li se šprlat v poloze vodorovné s osou kola, tedy asi v místě *L*, jest páka, na které působí, v tomto případu větší i než poloměr kola, jelikož se těžiště těla jeho mimo kolo nalézá.

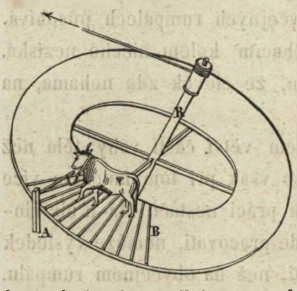
104. Ze všeho následuje, že šlapací kolo v podstatě nic jiného není než obyčejný rumpál jinak zařízený. Samo sebou se také rozumí, žeby člověk totéž na rumpále vykonal, kdyby na takových ramenech a takovou silou působil, jako se to u běhacího a šlapacího kola děje. Výhoda, které by se těmito stroji docíliti dalo, mohla by jedině v tom záležeti, žeby upotřebená síla těla takovýmto spůsobem skutečně větší byla než ji svaly rukou na rumpálech vydati mohou. Skoumají-li se však blíže tyto stroje, snadno se shledá, že se člověk v kole na velkém sklonu pohybovati nemůže, nemá-li se v kratičké době unaviti, tak že pro stálou práci toliko sklon jen asi 12° člověku možný jest. Počtem se ukáže, že při tomto sklonu potažná tíže těla jen asi pátý díl váhy jeho obnáší, že to jest následovně síla právě taková, jakouž člověk na obyčejných rumpálech působívá. Z toho jest tedy patrno, že se běhacím kolem ničeho nezíská. Rozdíl by byl následovně jen v tom, že člověk zde nohama, na rumpálech však rukama účinkuje.

Na kole šlapacím může se ovšem větší částí váhy těla než zmíněnou pětinou působiti, člověk se však při tom mnohem více unavuje, tak že síla jeho k trvalejší práci nestačí. Má-li ale člověk na př. celý den na šlapacím kole pracovati, nemůže výsledek práce jeho na tomto stroji větší býti, než na obyčejném rumpálu. Ještě více unavuje se na *kole s příčlemi*, jelikož to nic jiného není, než jakoby po žebříku kolmo nahoru lezl. Zkušenost také ukázala, že člověk na těchto strojích při trvalé práci jen v takovém sklonu působiti může, kde potažná tíže toliko asi pátý díl váhy těla jeho obnáší, což jak známo střední síla zvířecího těla při práci jest. Přiměřený sklon jest tedy takový, kde délka nakloněné plochy pětkrát tak velká jest jako výška její. Udělá-li se sklon větší, nemůže pak člověk střední svou rychlostí vykračovati, které pro největší výsledek potřebí jest.

Těmito zkušenostmi jest dáno i pravidlo, kterým se při

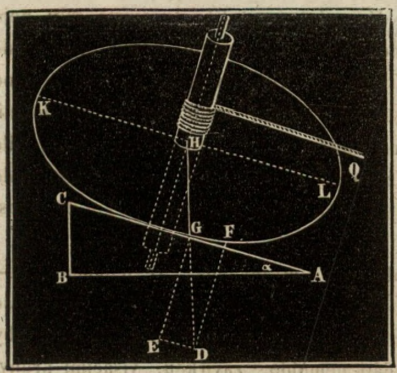
zařizování těchto strojů říditi jest, když člověku přiměřeny býti mají, aby totiž střední svou silou největší mu možné množství práce na nich konati mohl. Dle toho bylo by žádoucno, aby místo, kde člověk na kole běhacím kráčeti má, od svisného průměru na pátý díl poloměru kola vzdáleno bylo, t. j. třeba udělati $EH = \frac{1}{5}\ DH = \frac{1}{5}\ R$ (obraz 159.). Že všecko, co o těle lidském řečeno bylo, i u těla zvířecího vůbec platnost má, rozumí se samo sebou. — Jsou-li podmínky rovnováhy ustanoveny, dají se stroje tyto i snadno posouditi vzhledem na skutečnou práci jejich. Znázorníme-li si břemeno závažím Q zavěšeným na provaze, který na hřídeli navinut jest, vykoná břemeno dráhu jednoho obvodu hřídele, mezitím co se kolo jednou otáčí, tedy mezitím co síla dráhu obvodu kola v své působnosti projde. Z toho na novo vysvítá, že dráha síly tolikráte větší jest než dráha břemena, kolikráte břemeno větší jest než síla, čili že mechanický moment břemena právě tak velký jest jako moment síly.

Obraz 160.



105. Jiný spůsob upotřebení váhy zvířecího těla poskytuje nám *sklonité kolo* (Treťſcheibe, obraz 160.), jehož hřídel R od směru svisného asi o 12° se odchyluje. Na obyčejná, kolmo do hřídele zapuštěná ramena položí se pevná podlaha B, aby se po ní koně a voli pohybovati mohli. Počne-li zvíře z nejnižšího bodu kola nahoru kráčeti, přibývá se sklonem potažné tíže těla jeho, až konečně tak vzroste, že se jí kolo otáčí. Kolo se pohybuje, mezitím co k sloupu A uvázané zvíře ustavičně dále kráčí, na kole výše stoupá a s ním zase stále padá. Jako dříve jest také u tohoto kola nakloněná plocha příčinou, že se pohybuje. Potažná tíže, která sklonem podlahy se objevuje, působí na poloměru kola a otáčí je. Mají-li se i zde podmínky rovnováhy ustanoviti, třeba si jen znázorniti sklon plochy v takovém místě G (obr. 161.), kde tělo stojí. Je-li váha těla vyznačena velikostí GD, jest dle též míry GF potažná tíže těla tolikráte

Obraz 161.



menší než váha jeho, kolikráte výška plochy *BC* v délce její *AC* obsažena jest. V rovnováze bude břemeno *Q* tolikráte větší než potažná váha zvířecího těla, kolikráte poloměr kola větší jest než poloměr hřídele. Podmínky rovnováhy jsou tedy právě takové, jakých obyčejné kolo na hřídeli požaduje. Za touž příčinou třeba jen porovnati poloměr kola *HG* s poloměrem hřídele *H*, aby se velikost břemena *Q* ustanoviti mohla, kterou potažná tíže zvířecího těla v rovnováze držeti může.

Síla, která kolo žene, roste sice se sklonem plochy, než zkušenost učí, že i zde jen jistý sklon zvířecímu tělu přiměřený jest, když je v práci brzy unaviti nemá. Protož potřebí, aby jako vůbec i zde zvířecí tělo jen pátým dílem váhy své působilo, což sklon asi 11—12° velký požaduje. Pomocná nakloněná plocha *ABC* má tedy zase míti délku pětkráte tak velkou jako výšku. *) Že i zde rovnost momentů mechanických svou platnost míti musí, vysvítá již na první pohled, poněvadž stroj tento co do podstaty jen kolo na hřídeli jest, na kterém místo svalní síly rukou našich potažná tíže těla působí.

106. Sklonité kolo ukázalo se v skutečnosti k práci výhodnější býti než kolo běhací a šlapací. Sklon plochy, po které zvíře kráčí, nemůže nikdy větší býti než sklon hřídele. Skloní-li se hřídel jen asi o 12°, není pak na kole ani místa, kdeby se

*) Sklon tento dá se také jednoduše ustanoviti úhlem. Jestiť totiž potažná tíže $P = Q \sin \alpha$. Chceme-li tedy, aby zvířecí tělo vůbec pátým dílem váhy své působilo, ustanoví se úhel α z $\frac{1}{5}Q = Q \sin \alpha$ čili $\sin \alpha = \frac{1}{5}$, z čehož se $\measuredangle \alpha = 11° 32'$ nalezne. Kdyby se na př. sklon ustanoviti měl, na kterém by kůň, který 700 lb. váží, silou 100 lb. působil, musil by býti $\sin \alpha = \frac{100}{700} = \frac{1}{7}$, tedy $\measuredangle \alpha = 8°$.

zvíře v práci příliš unavovalo. Jinak se může sklon plochy v každé míře zmenšiti, čím více se totiž stanoviště síly nejnižšímu místu kola *L* aneb nejvyššímu místu *K* blíží, kde žádného sklonu není. Dle velikosti břemena může se také tělo od okraje kola *G* k hřídeli *H* více blížiti aneb se ho vzdalovati, aby se rameno páky, na kterém potažná tíže těla působí, dle potřeby zvětšilo aneb zmenšilo. Dle toho se pak také kolo rychleji aneb zdlouhavěji otáčí. Poloměr těchto kol bývá asi 4° velký.

Běhací a šlapací kola byla tím závadná, že ledajakési nedopatření postačovalo, aby člověk k ourazu přišel, ačkoli se zvláštními přístroji opatřovala, jako hřebenem se základkou, aby se kolo v protivný běh dáti nemohlo, zavírkou, visacími kruhy, aby se jich člověk zachytiti mohl, a jiným ještě náčiním. Méně jest se báti podobných nahodilých nebezpečných případů na sklonitém kole, kterého se také za touto příčinou častěji než obou ostatních užívá. Šlapací a běhací kola jest nyní jen zřídka viděti, a kde se jich užívá, jest to práce jen příležitostná, jako vážení vody ze studnic a p. Jindy museli psi téměř v každém lepším hostinci takové kolo pohybovati, aby jím rožeň s pečení ustavičně otáčeli. Nyní jest jen některá veverka neb vrabec k tomu odsouzen, aby takovým kolem nějaký stroj dětských hraček pohyboval.

Porovnáme-li všecko, co o šlapacích kolech vůbec řečeno bylo, s obyčejnými rumpály, shledáme, že se kola tato žádnými zvláštními výhodami nad obyčejné rumpály nevyznačují a že jen bludné mínění předků našich o těchto strojích, jakoby v práci mnohem vydatnější byly, a nedostatečná známost zákonů mechaniky příčinou byla, proč se jich jindy tak zhusta užívalo. Domýšleli se, že na těchto strojích celá váha zvířecího těla účinkuje, kdežto člověk na př. na obyčejných vratidlech toliko svalní silou rukou svých působí. Nevšímali si, ano i neznali často věcí hlavních, kdežto zase na věci mimotní celou váhu kladli, jak to až podnes u našich samouků často viděti jest. V novější době se naopak ukázalo, že šlapací stroje méně výhodné jsou než obyčejné rumpály naše. Musíť býti mnohem

větší, požadují více práce a stavební látky, mnohem více místnosti a vůbec většího nákladu, aniž větších výhod poskytují, což jest příčinou, že se v novější době téměř nikde nezařizují *).

*) *Archimed* začal poprvé vysvětlovati působnost nakloněné plochy. Mnozí z nástupců jeho jali se začátky tyto zdokonalovati, než celkem všickni marně; nikomu se nepodařilo nakloněnou plochu tak jasně ustanoviti, jak to *Archimed* s pákou byl učinil. Tak se stalo, že úloha tato teprv od novějších spracována býti musila. Pozorovalo se, že se hmota na nakloněné ploše silou udržeti dá, která by ji ve volném prostoru udržeti nemohla. Za tou příčinou vřadila se také nakloněná plocha mezi jednoduché stroje. Přirozeně se také shledalo, že síla tato růsti musí, když úhlu přibývá, a naopak.

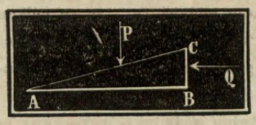
Již r. 1577. tvrdil *marquis Guido Ubaldi*, že klín a nakloněná plocha na témž základě spočívá. Také o šroubu se zmiňuje, že se tímž zákonem působnost jeho řídí. Podmínky rovnováhy, jak je stroj žádá, nemohl však předce ještě vyříknouti, ano podobá se, že se celkem předce jen tím řídil, co byl již dříve *Pappus* o věci této pověděl. Později (1592.) vykládal ještě *Galilei* upotřebení a působnost nakloněné plochy na základě páky.

Stevin († 1633.) vyvinul poprvé důkladně podmínky rovnováhy na nakloněné ploše, aniž k tomu páky zapotřebí měl. On ustanovil působnost její pro všecky poměry sil a pro každý směr jejich. K vyvinutí této věty použil hranolu s třemi stranami v podobě obrazu 157., a zkoušel zákon tento koulemi, které v stejných vzdálenostech na řetízku zavěšeny byly. Tím shledal, že počet kulí na nakloněných plochách pro rovnováhu vždy tentýž poměr tvoří jako délky těchto ploch (100.). Takto se stal první začátek pravého vyvinutí známého zákonu, odkudž se pak další zdokonalení statiky přirozeně odvodilo. *Stevin* dopomohl tedy nálezem svým k rozvinutí celé nauky *o rovnováze.*

KLÍN.

107. Upotřebení nakloněné plochy *mění se často* v *ten* způsob, že síla bezprostředně na ni působí, tedy plochu pohybovati se snaží a tím teprv i hmotu, která na ní spočívá. Nahoře vycházela síla od předmětu, který na ploše spočíval; nyní jest to téměř naopak, síla působí na plochu, aby se tak působnost její na předmět přenesla. Tento zvláštní způsob upotřebení nakloněné plochy dal jí také zvláštní známé jméno, totiž *klín*, čímž ale podstata její nijak se nemění. Klín sám, jak známo, jest třístranný hranol, tedy v průřezu nakloněná plocha, z čehož následuje, že se zde zákony, o kterých nahoře mluveno, opakovati budou. Jednoduchý způsob klínu představuje nám obr.

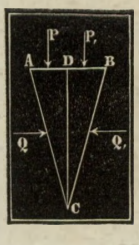
Obraz 162.



162. Stranice *BC* jest výška jeho a nazývá se obyčejně *čelo* čili *hřbet*, *AB* jest *šířka* a *AC* jeho *délka*. Působí-li síla *Q* kolmo na čelo *CB* a břemeno *P* kolmo na šířku jeho *AB*, musí pro rovnováhu, jak při nakloněné ploše již ukázáno, břemeno *P* tolikráte větší býti než upotřebená síla *Q*, kolikráte čelo klínu v šířce jeho obsaženo jest; tedy potřebí, aby i zde $P : Q = AB : CB$ bylo. Z toho následuje $P.CB = Q.AB$, t. j. účinek síly jest na tomto klínu tak velký jako účinek břemena, poněvadž *AB* dráhu síly *Q* a *CB* při práci současně vykonanou dráhu břemena *P* vyznačuje.

Má-li klín s obou stran na břemeno působiti, dává se mu podoba taková, jakoby se z dvou buď stejných, buď rozličných klínů skládal, aby jaksi každé břemeno svůj zvláštní klín mělo. K snadnějšímu přehlédnutí možno si jen průřez tohoto klínu (obr. 163.) představiti a tak si jej rozděliti, aby se v něm podoba svrchu zmíněného klínu dvakráte objevila; aby tedy *CD* na hřbet *AB* kolmo stálo, čímž se z celistvého klínu *ABC* klín *ACD* a klín *BCD* obdrží. Abychom podmínky rovnováhy ustanoviti mohli, můžeme si také upotřebenou sílu *P* na dvě síly *p* a *p'* tak roz-

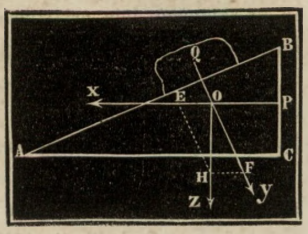
Obraz 163.



děliti, aby na každý klín náležitá část přišla, čímž se svrchu zmíněný případ dvakráte opakuje. Rovnováha nedá se tu jinak mysliti, než že odpor na klín s obou stran stejný jest, totiž $Q_1 = Q$, protože by se v opáčném případu pohybování v jednom směru tak dlouho díti musilo, až by se klid zase dostavil. Nyní jest patrno, že p tolikráte menší bude než Q, kolikráte přináležející mu čelo AD menší jest než šířka klínu CD; totéž platí také o p'. Vezmeme-li ohled na celek, shledáme, že p i p', následovně celá síla $P = p + p'$ s břemenem Q v takovém poměru stojí, jako AD i DB dohromady, t. j. celý hřbet klínu AB se šířkou jeho CD. Jestiť tedy $P : Q = AB : CD$, t. j. břemeno tolikráte větší než síla, kolikráte šířka klínu větší jest než čelo jeho. Z toho následuje opět $P.CD = Q.AB$. Jelikož se břemeno čili odpor v době, v níž působiště síly P z bodu D do C postoupí, o AB rozstoupne, jest CD dráha síly a AB současně vykonaná dráha břemena, tedy i zde účinek síly tak velký jako účinek břemena *).

108. Stávať také případův, kde břemeno na délku klínu AB kolmo působí, ve směru y, jak obraz 164. ukazuje. Kdyby se i zde podmínky rovnováhy ustanoviti měly, třeba se jen říditi tou okolností, že se výslednice břemena Q a síly P v kolmém směru z na plochu AC, na které se klín pohybovati může, objeviti a tak zrušiti musí. Působí-li jako vůbec při klínu síla P kolmo na hřbet jeho BC ve směru x, setkává se se směrem břemena v bodu O, který

Obraz 164.

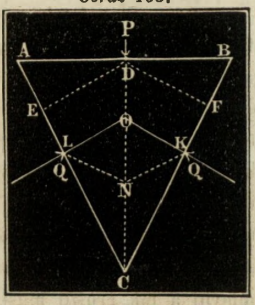


*) Je-li D v polovici AB, obdržíme dva stejné jednoduché klíny, tedy $AD = BD$ a $p = p'$. Poněvadž $p : Q = AD : CD$, jest také $2p : Q = 2.AD : CD$ čili $P : Q = AB : CD$. Není-li D uprostřed AB, obdržíme $\frac{p}{Q} = \frac{AD}{CD}$ a $\frac{p'}{Q} = \frac{BD}{CD}$, následovně také

$$\frac{p+p'}{Q} = \frac{AD+BD}{CD} \text{ čili } \frac{P}{Q} = \frac{AB}{CD}.$$

se za tou příčinou i za působiště výslednice považovati může, která kolmo na AC, tedy ve směru Oz působiti musí. Vyznačíme-li velikost odporu čili břemena Q délkou OF a utvoříme vzhledem na směr výslednice Oz z P a Q rovnoběžník sil, objeví se stranicí OE pro rovnováhu potřebná velikost síly P. Břemeno Q bude následovně tolikráte větší než síla P, kolikráte OF větší jest než OE čili FH. Povstalý trojúhelník sil OEH č. OFH má podobu klínu ABC. Mění-li se klín, mění se s ním zároveň i tento trojúhelník, ale vždy tak, že se podoba jeho stále rovná podobě klínu. Z toho následuje, že BC a BA vždy tentýž poměr tvoří jako $FH = P$ a $OF = Q$, tedy že i břemeno OF právě tolikrát větší bude než síla FH, kolikráte délka klínu AB větší jest než výška jeho BC, t. $P : Q = BC : AB$. Vezme-li se na to ohled, že břemeno při skutečné práci kolmo na délku klínu svou dráhu koná, ukáže se i zde, že účinek síly tak velký jest jako účinek břemena.

Obraz 165.



Že i na stěny klínu dvojatého (obr. 165.) síly kolmo působiti mohou, rozumí se samo sebou a také se to skutečně děje při štípání dříví klínem a j. podobných pracích. Jelikož se klín tento z dvou jednoduchých ACD a BCD skládá, následovně se jen dvakráte opakuje, co již svrchu řečeno bylo, bude i zde síla P v rovnováze tolikráte menší než břemeno Q, kolikráte hřbet klínu AB menší jest než délka čili strana jeho AC, totiž $P : Q = AB : AC$*).

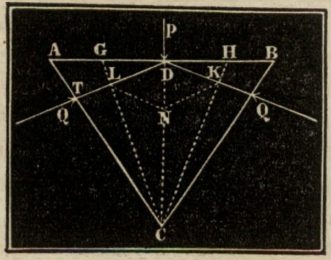
---

*) U jednoduchého klínu, jako jest na obr. 164. aneb ACD (obraz 165.), postoupí v skutečné práci působiště síly z D do C, mezitím co se břemeno čili odpor ve směru svém o DE vzdálí. Jak svrchu uvedeno, jest $P : Q = AD : AC = DE : DC$, tedy i $P.DC = Q.DE$, t. j. účinek břemena tak velký jako účinek síly.

U dvojatého klínu ABC musí výslednice ze sil Q, Q, a P, aby rovnováha byla, nulou býti. Utvoříme-li rovnoběžník sil, obdržíme

109. Z předešlého následuje, že se vždy z rozměrů klínů podmínky rovnováhy ustanoviti dají. Ve svrchu uvedených případech potřebí jen vespolek porovnati stranice klínu, na které síly kolmo působí, a tímto poměrem obdržíme i pro rovnováhu potřebný poměr sil. Abychom účinlivost klínů ve skutečné práci i tenkráte poznali, když síla ani na délku ani na šířku jejich kolmo nepůsobí, jak to obraz 166. ukazuje, třeba jen dráhy pozorovati, které na nich současně síla s břemenem vykonává. Břemeno Q působí šikmo na délku klínu AC, kolmo na př. na CG. Vykoná-li síla dráhu DC, vykoná břemeno současně dráhu DT, čímž již poměr mezi silou a břemenem určen jest.

Obraz 166.



Pro hotovení klínů podává se z toho pravidlo samo sebou. Když břemeno velké dráhy konati má, dělá se klín krátký, tupý, s hřbetem velkým, k čemuž ovšem síly potřebí jest, která se více méně velikosti břemena blíží, ano i je převyšuje. Příklad máme na sekeře, jakéž dřevoštěpové při práci své užívají.

Obraz 167.

Obraz 167. ukazuje výhodnou podobu takové sekery. Jelikož se dřevo silně rozstupovati musí, pracuje se ovšem rychle, avšak s velkým také úsilím. Aby se pohybování velkých břemen obyčejnou silou uskutečnilo, potřebí klínů, jichž stranice tolikráte větší jsou než hřbety jejich, kolikráte břemeno větší býti má než upotřebená síla.

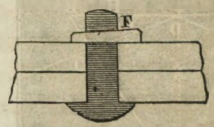
$\triangle LON \sim \triangle ABC$, jelikož stranice jejich vespolek na sobě kolmo stojí, a z toho $P : Q = ON : OL = AB : AC$, jak svrchu uvedeno. Postonpí-li působiště síly z D do C, rozstoupne se odpor čili břemeno o $DE + DF = 2.DE$. Jelikož $DE \perp AC$, jest $\triangle CDE \sim \triangle ACD$ tedy $DC : DE = AC : AD$ a také

$$DC : 2.DE = AC : 2.AD = AC : AB = Q : P,$$

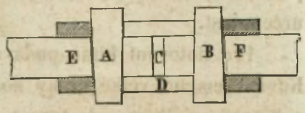
z čehož $P.DC = Q.2DE$ následuje, t. j. účinek síly rovná se účinku břemena.

Poněvadž si délku klínu tolikráte větší mysliti ano i zhotoviti můžeme než výšku jeho, kolikráte jen chceme, objevuje se nám v klínu stroj, kterým se každý libovolný poměr síly k břemenu uskutečniti dá. Jelikož klíny v takových případech příliš dlouhé býti musí, jichž se v celistvosti jejich upotřebiti nemůže, uřezávají se z nich jen takové kusy, jakých se k žádoucímu účelu zapotřebí býti vidí. Jedná-li se o to, aby se na př. dvě desky silně stáhly, použije se k tomu s prospěchem takovýchto klínů, jak na obr. 168. viděti jest. Provrtanýma deskoma protáhne se kůlec s hlavičkou, který na konci dosti velký otvor má, aby se do něho přiměřený klín *F* násilím vehnati mohl. I obraz 169. ukazuje průřez takovýchto klínů *A* a *B*, kterými se železné tyče *E* a *F* stahovati a tak i rozličné věci, jako na př. stěny vázati dají. Dobře k tomu slouží *mufle*, t. j. dutý hranol *D*, aby tyče *E* a *F* po délce pojmouti mohl. Stěny mufle jsou uprostřed v šířce klínů nahoře a dole vybrány, aby se klíny nahoru a dolů volně pohybovati a mezera *C* vždy pozorovati mohla. Tak jest i možno dle potřeby větších aneb menších klínů *A* a *B* k tomu použiti. Tyče *E* a *F* ukončují se v háky, které se za klíny zachycují. Mezi oběma musí vždy býti prázdný prostor *C*, aby obě tyče, když třeba, k postoupení ještě dosti vůle měly. Obyčejně se upotřebuje klínů při svírání, stahování a zvedání těžkých věcí, při pokládání podlah, rovnání stěn, trhání kamene a t. d. Zmíněný veliký poměr síly k břemenu jest také příčinou, že se klínů i při lisování (presování) užívá. Dříve než nynějších hydraulických lisů v takovém počtu stávalo, vyráběl se klíny i řepkový olej. Rozemletá upražená řepka kladla se mezi dvě desky do čtverhranu, na př. ze železné litiny aneb ze silného pařezu, a stlačovala se klíny tam vráženými tak silně, až postraními otvory olej z ní vytékal.

Obraz 168.



Obraz 169.



Takové a podobné upotřebení klínů v životě praktickém jest vůbec známé, jelikož naše obyčejné nástroje a náčiní velmi

zhusta podobu klínů mají. Naše nože, nůžky a nástroje sekací a řezací všeho druhu jsou tupé a ostré klíny, které se obyčejně ještě s pákou spojují, jako sekera, srp, kosa a p. Jak se i na těchto poměr síly mění, když se zostřují, známo ze zkušenosti. Netřeba ani připomínati, že klíny i více než dvěma nakloněnýma plochama obmezeny býti mohou, jako jsou na př. hřebíky, vidličky, šídla; ano hotoví se také klíny okrouhlé, kužclovité, jako jehly, zátky do nádob a do láhví, rozličné kůlce a t. d. To také vysvětluje, proč se zátky do otvorů tak silně vtlačiti dají, proč se sklenice, do které se jiná o něco menší strká, snadno roztrhne, proč dlažba z kamenů klínovitých pod koly se prohlubuje, na blízku však vystupuje a p.

Často mohou určité rozměry klínů a známá velikost upotřebené síly i k tomu sloužiti, aby se jimi velikost břemena ustanovila. Tak na př. u těles, jichž spojitost břemenem jest, jako při štípání dříví, lámání kamene a t. d. Takovýmto štípáním jeví se také rozdíl v spojitosti dřeva suchého a mokrého, dřeva tvrdého na př. bukového, které se málo ohýbá a odlituje, a dřeva měkkého, jako jedlového a j.*).

---

*) Již *Aristoteles* († 322. před K. P.) mluví o klínu jakož i o kladce a o rumpále, ačkoli, jak se samo sebou rozumí, výrok jeho ani důkladnosti ani žádné jasnosti nemá. Dle svého zvyku táže se a odpovídá si sám na to: „Jak může malý klín velké špalky trhati? — poněvadž se klín z dvou protivných pák skládá.“ Jelikož působnost páky jasně nevyložil, platí to tím více o klínu.

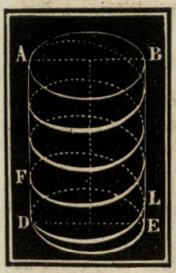
Ačkoli, jak již svrchu zmíněno, klín později za věc totožnou s nakloněnou plochou držán byl a *Stevin* působnost této dosti jasně vysvětlil, přece dlouho trvalo, než se všeobecně jednoduchost stroje tohoto poznala, jakouž nyní na něm pozorujeme. Na důkaz toho uvedeme smysl slov, která o stroji tomto pronesl (r. 1792.) známý německý spisovatel *Kästner*. „Spisovatelé vykládali mocnost klínu tak rozdílným způsobem, že mne velká obtíž, kterou matematikové nalezali, aby se o této věci sjednotili, omluví, když o vyvinutí tohoto zákona pomlčím.“

3. ŠROUB.

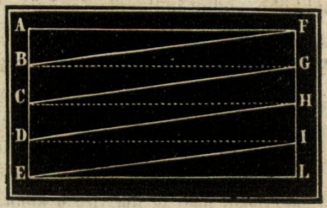
110. Mimo již zmíněné dva případy nakloněné plochy, kde se předmět jednou na ploše, podruhé plocha sama i s předmětem, ale vždy jen v přímé čáře pohybuje, stává ještě i takového zařízení nakloněné plochy, že se v křivé čáře pravidelně v kruhu pohybuje, mezitím co předmět přímočárnou dráhu koná. Třeba si jen představiti, že se nakloněná plocha kolem nějakého předmětu vine, jako nám to v skutečnosti mnohé cesty ukazují, které na kuželovité kopce vedou. K docílení větší pravidelnosti děje se to obyčejně tak, aby všecky souhlasné polohy nakloněné plochy vždy od sebe stejně vzdáleny byly. Právě pro pravidelnost opírává se tato nakloněná plocha jen o *válec* a o *kužel*.

K snadnějšímu objasnění možno si mysliti nějaký válec ovinutý pláštěm, který se s něho zase svinouti dá. Obraz 170.

Obraz 170.



Obraz 171

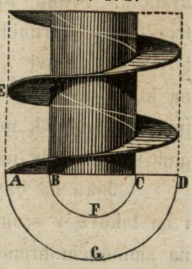


představuje takový válec a obraz 171. jest odvinutý plášť jeho, který se rovnoběžnými *BG*, *CH* a *DI* na libovolný počet stejných dílů rozděliti může. Vyznačí-li se průsečnice těchto dílů *BF*, *CG*, *DH* a *EI* dosti ostře a plášť-li zase na válec se navine, objeví se čára, která v kruhu stále do výše stoupá a sice, jak na obr. 170. viděti jest, z *D* do *L*, pak do *F* a t. d. až do *A*. Jestiť totiž délka pláště *EL* právě tak velká jako obvod válce, tak že se při ovinutí bod *L* s bodem *E* stýká, tedy i bod *I* s bodem *D*, dále *H* s *C* a t. d., krátce stranice pláště *FL* kryje dokona stranici jeho *AE*. Z toho následuje, že všecky

průsečné dohromady toliko jednu pravidelnou křivou čáru tvoří, tak zvanou *šroubovici* čili *čáru šroubovou*, kterou na válci (obr. 170.) viděti jest. *ELI* jest trojúhelník co obraz jedné části nakloněné plochy; přidá-li se k němu *DELH*, tak aby *DE* stranici *LI* krylo, povstane z toho opět nakloněná plocha v podobě trojúhelníku s délkou $EH = EI + DH$. Kdyby se tímž spůsobem *CELG* vzalo a stranou *CE* na *HL* obrazu předešlého položilo a konečně právě tak *BE* na *GL*, povstal by z toho jen jediný trojúhelník, znázorňující nakloněnou plochu, jejíž délka by všecky na plášti *AELF* vyznačené průsečnice v sobě obsahovala. Proto se šroubovice ještě nápadněji a pravidelněji objeví, když si průřez nakloněné plochy vystřiženým papírem znázorníme, šikmý okraj papíru co délku její černě vytáhneme a pak papír tento počínajíc od výšky na kužel aneb na válec navineme.

Jako se papír s černým okrajem na válec vine, aby se na něm šroubovice znázornila, tak možno i zcela jiné věci na válec navinovati, na př. pevnou plochu k rozličným účelům, jak na ob. 172. viděti jest. Taková plocha může libovolné šíře býti, jak totiž potřeba žádá, tak že rozdíl takového zařízení od obecné nakloněné plochy jen v tom záleží, že se zde nakloněná plocha kolem válce vine. Také z věci samé vysvítá, že se tato plocha buď kolmo na válec stavěti, buď ku kterékoli straně jeho sešikmiti může. Půlkruh *BFC* ukazuje vodorovný průmět poloviny válce, t. j. obraz jeho, který se nám objeví, když se kolmo na plochu průřezu jeho s hora podíváme. Podobně nám znázorňuje kroužek *ABFCDG* vodorovný průmět k válci přidělané nakloněné plochy, jejížto šířka velikostí *AB* čili *CD* vyznačena jest. Plochy takové upotřebuje se při úzkých chodbách do vyšších pater, kde se obyčejně v točité schody proměňuje. Uzavře-li se dobře taková plocha stěnami se všech stran a osa její opatří klikou, povstane *vodní šroub*, kterým se voda na vyšší místa zvedati dá. Jelikož stroj tento při práci vždy nakloněn býti a dolejším koncem ve

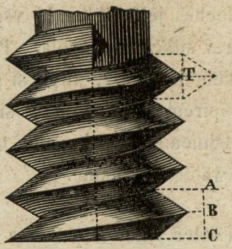
Obraz 172.



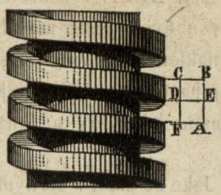
vodě státi musí, jest to jen malá hloubka, ze které se voda tímto strojem čerpati dá.

111. Mají-li se i těžké předměty po takové nakloněné ploše pohybovati, musí plocha dosti spojitosti, pevnosti míti, aby se s nimi ve výšce udržovati mohla. Právě za touto příčinou přechází takováto slabá plocha v silný hranol, který se také v šroubovici kolem válce ovinuje. Tak povstanou známé *šrouby*,

Obraz 173.



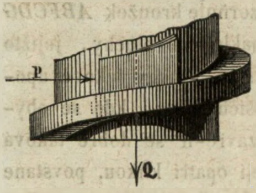
Obraz 174.



a sice *šroub ostrý* (obraz 173.) a *šroub plochý* (obraz 174.) Trojúhelník *T* a čtyrúhelník *BCDE* ukazuje průřez ovinutého hranolu. Šroub by mohl také povstati, když by se zmíněný troj- aneb čtyrúhelník v kolmé poloze na válci stále v šroubovici pohyboval a pevnou stopu za sebou zanechával. Válec, na který se hranol vine, nazývá se *vřeteno šroubu* (Schraubenspindel), dráhy k němu upevněných hranolů *otočky* (Schraubengang) a hranoly na vřeteně *vinty* jeho.

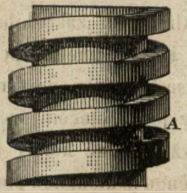
Jako na obyčejné nakloněné ploše mohly by se věci i na takové v šroubovici ovinuté ploše *ABE* (obr. 172.) ano i na zmíněném hranolu kolem pevného válce zvedati. Břemeno *Q* (obr. 175.) dalo by se na př. silou *P* na nakloněné plošce držeti a pohybovati. Poněvadž by ale tyto plochy často příliš velké býti musily a spůsobilost jejich se tím i značně obmezovala, změnilo se upotřebení takové pevné šroubovice v jiné mnohem příhodnější. Béře se totiž pevný tak vyvrtaný hranol, aby jím vřeteno šroubu volně procházelo; ve stěnách otvoru vyhloubí se

Obraz 175.

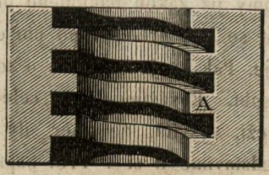


pak dle šroubovice takové dráhy, aby jednak pevné závity čili vinty šroubu ve všech místech do nich zapadaly, jednak aby pozůstalé pevné částky matice *A* (obraz 177.) prostor mezi vinty vřetena *A* (obr. 176.) vyplňovaly a se tak vespolek pevně držely a vázaly. Tímto spůsobem obdržíme pro šroub dva díly,

Obraz 176.



Obraz 177.



pevný čili *vřeteno* (obr. 176.) a *dutý* čili *matici* (Schraubenmutter) aneb *hnízdo* jeho (obr. 177.). *) Je-li matice nehybná, pohybuje se v ní vřeteno sem a tam, jak medle se otáčeti počíná; je-li však vřeteno nehybné, pohybuje se po něm matice, když se otáčí. Vůbec nemůže-li postupovati jedna část šroubu ve směru vřetena, postupuje druhá, ať se pak kterákoli otáčí. Spojí-li se břemeno pevně s jedním z těchto dvou dílů šroubu, možno je pak buď otáčením vřetena buď otáčením matice ve

*) Má-li se také vnitřní zařízení strojů znázorniti, žádoucno, aby také do vnitř nějaký pohled možný byl. Za tou příčinou rejsují se stroje tak, jakoby v místech, kde na pohled nejvíce předmětů poskytují, tedy pravidelně ve středu, na dva díly *rozříznuty* byly, a výkres takový nazývá se *průřez* jejich. Odříznutý bližší díl stroje se v mysli odejme, a pak zbývá jen část zadní. Příklad toho máme na obraze 177.; do vyznačených tam drah mohou zapadati jen zadní části otoček šroubových, kterých na obraze 176. viděti není. Z vřetena máme tedy na obraze 176. část přední, z matice jest však na obr. 177. část zadní, jelikož přední jakoby odříznutá odňata jest.

Plochy, které řezem povstaly, tedy plochy *prořízнuté*, čárkují se stejně na všech místech, aby se od ploch řezem nedotknutých hned na první pohled rozeznati mohly. Příklad toho vidíme na obraze 169. a j. Naopak vždycky také soudíme, že nám obraz, který v některých místech stejnými čárkami šikmo potažen jest, průřez nějakého předmětu znázorniti má. Při výkresech strojů dřevěných čárkují se také plochy, jimiž se dřevo čelně ukazuje, jako na př. u příček kozy (obr. 154.) viděti jest.

směru vřetena pohybovati, jak toho potřeba žádá a okolnosti dopouštějí. Často záleží břemeno šroubu v tom, aby se jím předmět nějaký náležitě stlačoval. Jelikož se zde nakloněná plocha současně s břemenem, které při tom do výše stoupá, pohybuje, není šroub nic jiného než v kruhu se vinoucí klín.

112. Mají-li se podmínky rovnováhy stanoviti, třeba jen známý již zákon nakloněné plochy aneb klínu za základ bráti, kde se buď předmět po ploše neb plocha i s předmětem pohybuje. Pak se jedná ještě o to, v jakém směru síla na šroub působí. Považíme-li, že celé působení síly jen v otáčení šroubu záleží, vysvitá, že směr síly na vřeteno vždy tečně kolmý jest. Představíme-li si v 110. papírem znázorněnou nakloněnou plochu aneb i jen trojúhelník *ELI* na obraze 171., shledáme, že síla se šířkou nakloněné plochy *EL* rovnoběžně působí. Jestiť tedy na obraze 175. šipkou vyznačen směr síly *P* a právě tak směr břemena *Q*. Pro rovnováhu na nakloněné ploše měli jsme (99.) v tomto případu $P : Q = v : z$. Byloby tedy vždy potřebí znáti nakloněnou plochu šroubu, aby se výška se základnou její porovnati mohla. Okolnost, že v každém dílu nakloněné plochy výška vždy tatáž část její šířky jest, ať se pak výška plochy v jakémkoli bodu šířky její byla vzala, zjednodušuje tuto věc u šroubu, poněvadž i jen jediná otočka k účeli tomuto postačuje, tedy také část plochy *ELI* na obraze 171. Jelikož *EL* celý válec ovinouti může, objevuje se šířka nakloněné plochy co obvod vřetena šroubu. Při jednom otočení šroubu zvedá se břemeno o jednu otočku výše, tak že výška otočky šroubové *LI* výškou nakloněné plochy jest. Vyznačuje-li trojúhelník *T* (obr. 173.) průřez ovinutého hranolu, jest *CA* výška otočky, tedy i nakloněné plochy jednoho obvodu tohoto šroubu, jelikož předmět po jednom otočení na př. z bodu *C* do *A* přichází. Výška otočky při plochém šroubu jest *AB* (obr. 174.), poněvadž předmět po jednom otočení z *A* do *B* vystoupí. Výška otočky *AB* jest tedy alespoň dvakrát tak velká jako výška hranolu, totiž $AB = 2.EB$. Přeneseme-li potřebné částky nakloněné plochy na podobu šroubu, přechází výška plochy ve výšku otočky a šířka její v obvod šroubu, tak že pak podmínky rovnováhy u

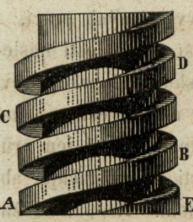
šroubu v tom záležejí, aby břemeno tolikráte větší bylo než síla, kolikrát obvod šroubu větší jest než výška otočky jeho. Vyznačí-li se poloměr vřetena písmenem r, bude obvod jeho $\pi d = 2\pi r$ (7.), a je-li v výška otočky, budou podmínky rovnováhy krátce obsaženy v $P : Q = v : 2\pi r$.

Jelikož v výšku značí, na kterou se břemeno každým otočením zvedá, tedy dráhu jeho, a obvod vřetena $2\pi r$ také dráha jest, kterou síla současně s břemenem vykonává, vysvítá již z podmínek rovnováhy rovnost obapolně vykonaných prací, t. $P.2\pi r = Q.v$, což ostatně také již z hořejší srovnalosti následuje. Síla koná tedy i na tomto stroji při skutečné práci právě tolikráte větší dráhu než břemeno, kolikráte menší jest než ono. Odměření výšky otočky a obvodu šroubu aneb také i jen průměru jeho, jelikož se z něho obvod vypočísti dá, postačuje, aby se poměr sil u každého šroubu ustanoviti mohl. Naopak možno také šrouby tak zařizovati, aby se žádoucí poměry sil na nich uskutečňovaly. Jelikož se výška otočky dle libosti malá, obvod vřetena však jakkoli velký dělati dá, jest patrno, že se na šroubu téměř každý poměr sil uskutečniti může. Z všeobecného zákona $P : Q = v : 2\pi r$ čili $P.2\pi r = Q.v$ následuje, že na šroubu *jen poměr* výšky k obvodu takový býti musí jako poměr síly k břemenu, z čehož však ještě nevysvítá, jakou výšku otočka míti má. O tom rozhoduje potřeba a účel šroubu. Je-li výška otočky šroubu ustanovena, ustanoví se poměrem sil obvod a pak i průměr vřetena jeho. Ostatně se rozumí samo sebou, že jako vůbec i zde tolikero úloh povstati může, co ve výrazu rozličných veličin jest, jelikož se každá z nich neznámou státi může, totiž P, Q, v a r. Tak na př. možno ustanoviti, jaké síly potřebí jest, aby se známým šroubem nějaké určité břemeno udrželo aneb tlak nějaké určité velikosti uskutečnil. Tak se ustanoví i velikost tlaku, jehož člověk každým šroubem docíliti může a p.

113. Není-li poměr síly k břemenu velký, stane se výška otoček značné velikosti a odtud i podoba jejich méně příhodná. To jest příčinou, že se v takovýchto případech dva ano i více vintů podlé sebe v šroubovici na válec navinuje. Šrouby se tím stávají úhlednější a pak se docílí i té výhody, že se vřeteno

v matici lépe drží a méně viklá. Má-li vřeteno takového šroubu polohu svisnou, padá v matici svou vlastní váhou dolů, a upotřebí-li se ho ke stlačování věcí, počne se pohybovati ve směru protivném, jak medle síla na něj působiti přestane. Obraz 178. ukazuje šroub s dvojím závitem, což se vždy na konci každého šroubu tím objeviti musí, že tam více ukončených vintů viděti jest, jako zde konec *A* a *E*. Takové odskakování šroubu, kterým se práce obyčejně urychluje, jeví se pravidelně jen na dobře spracovaných kovových plochých šroubech. Ostré šrouby kovové, jakož i šrouby dřevěné vůbec, neodskakují, poněvadž na nich tření velké jest. Odskakování toto počíná se jeviti, když sklon plochy šroubu alespoň 8 až 10° obnáší, čili když poměr výšky otočky k obvodu šroubu $^1/_7$ až $^1/_5$ velký jest. Při šroubech s dvojím závitem jevívá se odskakování toto ještě nedokonale; nápadné jest však již u trojího závitu. Někdy se k vřetenům i ještě zvláštní pružná péra přidělávají, aby se odskakování zvětšilo.

Obraz 178.



Jedná-li se v takovémto případu o výšku otočky, aby se podmínky rovnováhy ustanoviti mohly, nemůže povstati žádných pochybností, považíme-li, že výška otočky nic jiného býti nemá než výška, na kterou se břemeno jedním otočením zvedá, čili dráha, kterou břemeno při každém jednotlivém otočení ve směru vřetena vykonává. Zde jest tedy výška tato vyznačena vzdáleností *A* od *C*, t. j. výškou dvou vintů a dvou brázd jejich, jelikož břemeno z *A* do *B*, odtud do *C* a pak do *D* přichází. Právě tak by se věc měla, kdyby tři aneb ještě více vintů na jedné otočce bylo. Z přirozenosti šroubu již vysvítá, že jedno jest, jak se vinty kolem vřetena šroubu vinou, zdali v levo aneb v pravo. Zvyk a potřeba zde rozhodují. Rozdíl tento viděti jest na obraze 176., kde se v pravo, a na obraze 174., kde se v levo vinou. Nastává ještě otázka, kolik dražek čili brazd vždy matice v sobě držeti má? Posud jsme vždy jen jednu pozorovali, která by také pro každou matici postačovala, když by do ní zapadající vint dosti pevný byl. Obyčejně se dělává matice

širší, aby jich více pojmouti a také i tenkráte působiti mohla, kdyby se některý vint vylomiti měl. Vzhledem na podmínky rovnováhy nedělá to žádného rozdílu; břemeno se ovšem na tolik částí rozpadává, co v matici vintů jest, na celé vřeteno připadá však zase celé břemeno.

Podoba vintů jest libovolná; obyčejně se však k tomu brává rovnostranný trojúhelník jako *T* na obr. 173., aneb pravidelný čtverec jako *BCDE* (obr. 174.). Často mívá vint podobu trojúhelníka, jehož výška tak velká jest jako základna, tak že úhel, který obě stranice vintu vespolek tvoří, 53° obnáší. Vůbec se měnívá tento úhel od 50 až do 60°. U šroubů plochých dělá se šířka vintu *BC* obyčejně o $^1/_8$ až i o $^1/_4$ větší než výška jeho *CD*. Výška vintů plochých dělává se tak velká jako $^1/_8$ až i $^1/_4$ průměru vřetena, i tehdáž, když otočka více závitů má. Již z podoby šroubů vysvítá, že ostrý pevnější jest než plochý, nicméně užívá se přece raději šroubů plochých, když se jimi velký tlak uskutečniti má, poněvadž mají volnější chod než šrouby ostré. Tak se stává, že šrouby ploché, když částky strojů stahují, již pouhým otřásáním stroje povolují a se vytáčejí, což se u ostrých šroubů tak snadno neděje. Proto se také užívá k svírání a k stahování rozličných věcí šroubů ostrých s otočkou nízkou. Na vřetenech, jichž průměr menší jest než 1·5″, dělávají se obyčejně ostré šrouby, poněvadž se snáze hotoviti dají a právě proto i levnější jsou než ploché.

Rozdílné jsou v tom ohledu *šrouby kuželité* (obr. 179.), které si matici samy ve dřevě dělají. Za touž příčinou má vint jejich *C* podobu ostrého trojúhelníka a vřeteno *B* jest kuželité, aby zponenáhla vždy hloub do dřeva zajížděly a těsněji se tam udržovaly. Dráha se jim musí zprvu ve dřevě navrtat, aby je silnějším koncem netrhaly. Že i na vřeteně kužclitém otočky ve všech místech stejnou výšku míti musí, vysvítá již z té okolnosti, žeby se ve dřevě utvořená matice nově přicházejícími otočkami trhala a vřeteno v ní se držeti nemohlo. Z toho následuje, že se tyto šrouby tím pevněji zachycují, čím hloub přicházejí, protože dřevo ke kuželi většímu

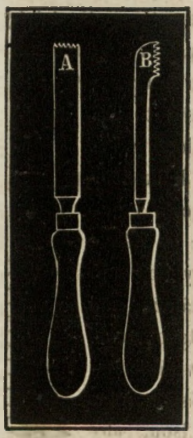
Ob. 179.

také vždy více a těsněji přiléhati musí. Vzdálenost jednoho vintu od druhého bývá obyčejně větší (dvakrát tak velká) než výška vintu, aby zachycená vrstva dřeva právě tak pevná byla jako kovový vint.

114. *Dělání* šroubů děje se rozličným spůsobem. Nejjednodušeji se zhotovují litím kovu do kadlubu (formy), jako to zvláště na náčiní cínovém, bronzovém a j. viděti jest. I šrouby železné se lijou, vinty jejich musí se však ještě přiřezávati. Častěji se však dělají pilníkem, zvláště jsou-li to šrouby velké a strojů po ruce není, kterými by se vyřezávaly. Šrouby s více závity hotoví se obyčejně pilníkem, poněvadž se vysoké otočky strojem snadno řezati nedají. Kovový válec připraví se dobře k tomu pilníkem aneb ještě lépe na soustruhu, aby z něho pravidelné vřeteno bylo. Průměr pro obyčejné šrouby válce dělá se $3\frac{1}{2}$ až 4krát tak velký jako výška otočky. Na pruh papíru, tak široký jako jest obvod válce, vyrejsují se všecky závity v podobě nakloněných ploch, jako to obraz 171. ukazuje. Olepí-li se nyní připravený kovový válec tímto papírem, možno ostrým pilníkem rejhu táhnouti, kde brázdy býti mají, aby se pak plochým pilníkem aneb zprvu dlátkem zhruba vybrati mohly. Jedná-li se o větší dokonalost a pravidelnost šroubu, naleje se na takto zhotovené vřeteno olova, aby se jakási matice utvořila, ve které se pak vřeteno šmirglem a olejem na soustruhu ještě náležitě vybrousí. — I drobné šrouby se tak dělají, když nástrojů není, aby se řezaly. Mají-li býti pravidelné, navine se na dobře připravené vřeteno drátu, aby závity znázorňoval. Tento se pak opatrně odvinuje a ostrým pilníkem se dělá rejha podle něho, dle které se šroub opatrně vyřeže. Takto připravené ocelové vřeteno může se ztvrditi a v oceli jím náležitá matice vyřezati. Ztvrdí-li se i matice tato, máme nástroj, kterým se pak šrouby řezati dají. Nepravidelnosti, kterým se při prvním vyřezávání vřetena vyhnouti nelze, zmizí téměř zcela tímto pochodem.

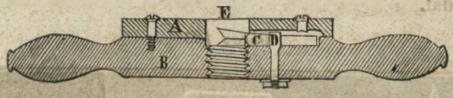
Pohodlněji se dělají šrouby na soustruhu *šroubovým struhákem.* Obraz 180. znázorňuje struhák na vřeteno a obr. 181. na matici, pro kterou se napřed potřebný otvor vyvrtati musí.

Obraz 180. 181.



Potřebí jen cviku, aby pracovník se struhákem na dřevě aneb na kovu při otáčení soustruhu pravidelně sem tam jezditi dovedl. Tento spůsob dělání šroubů jest zcela obyčejný u prací soustružnických, jmenovitě jsou-li to věci velké aneb duté s tenkými stěnami, kteréby se šroubovým vrtákem trhaly. Že se tak jen ostré šrouby dělati dají, rozumí se samo sebou. Struháky tyto hotoví se na tvrdém ocelovém kotouči, opatřeném přiměřenými závity. Otáčí-li se kotouč tento na soustruhu a železko ocelové se k němu zvolna přitlačuje, vyřežou se na nich zponenáhla přiměřené šroubové zuby *A* a *B*. Mimo to dělají se již i soustruhy se zvláštními přístroji k hotovení šroubů.

Obraz 182.



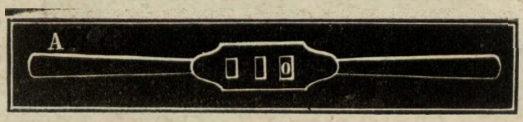
Obraz 183.

Pravidelněji a ještě pohodlněji hotoví se šrouby *šroubořezem*, t. j. nástrojem, který vřeteno sám vyřezává, jen když se připravený k tomu válec v kruhu otáčí. Obraz 182. představuje v průřezu nástroj tento na vřetena šroubů dřevěných, a obr. 183. ukazuje šroubořez na vřetena šroubů kovových. Podstatná část stroje na vřetena dřevěná jest v podobě třístraného hranolu lomený a na koncích těchto zaostřený nožík *C*, který se pomocí raménka *D* šroubem k násadě stroje *B* upevňuje. Na vřeteno se zhotoví napřed na soustruhu takový válec, aby na všech místech otvorem *E* vrchní plotny *A* volně procházel. Nastrčí-li se přišpičatělým koncem takto připravený válec do

stroje až k nožíku *C* a zvolna se otáčí, dělá nůž ve válci takové brázdy, že ostalé zvýšené částky jeho pravidelné vinty tvoří. Hořejší plotna stroje *A* může se také odejmouti, kdyby se vinty až k rukověti vřetena utvořiti měly. Pro matici musí se napřed přiměřený otvor vyvrtati, ve kterém se brázdy *šroubovým vrtákem* (obr. 184.) vyřežou. Jestiť to kuželovité železné vřeteno, aby čím dále tím hloub zasahovalo a právě tím ostřeji matici brázdilo. Jelikož by povstalé dřevěné drtiny práci kazily aneb docela i nemožnou činily, prořezávají se závity vrtáku po délce, čímž se i nové a tím výhodné ostré plochy objevují. Rozumí se samo sebou, že šroubořez a náležitý mu vrták ve velikosti souhlasiti musí, aby se vřeteno s maticí vespolek dobře zachycovaly. Poněvadž se vrták pouhou rukou otáčeti nedá, brává se k němu násada (obr. 185.), ve které otvory *O* rozličné velikosti jsou, aby se čtyrhraný konec vrtáku *B* v některém zachytnouti a otáčeti dal.

Ob. 184.

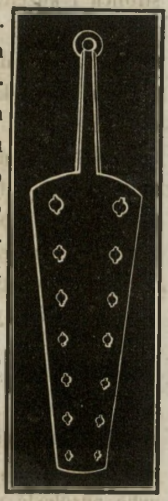
Obraz 185.



115. Vřetena šroubů kovových dělají se obyčejně z kovaného železa a z železného drátu. Drobná a umělá vřetena hotoví se z ocele; zvláště litá ocel se k tomu dobře hodí. — Někdy se brává na šrouby také mosaz. Na vřetena železná a ocelová dělají se matice obyčejně z mosazu, z bronzu, ze zvonoviny a j. Mají-li to býti šroubky tenké, jichž průměr menší jest než 1·5‴, dělají se na *šrubnici* (obr. 186.). Jestiť to ocelová deska, ve které více matic rozličné velikosti vyřezáno jest. Otvory jsou na desce vždy po dvou, tak že se v jednom vřeteno na hrubo připraví, v druhém však na čisto dohotovuje. Jedním koncem zapne se drát do svěráku a druhým se přiloží k takovému otvoru, který velikosti jeho přináleží. Drát se olejem navlaží a zvolna v matici otáčí; druhou stranou vychází již ho-

tový šroubek. Aby povstalé tím drtiny práci nepřekážely, jsou matičky tyto na dvou protilehlých stranách zářezy opatřeny, aby jimi vypadávati mohly. Mimo to docílí se jimi ostrých ploch, které se do válce zařezávají a jej ostřeji prohlubují. K hotovení matek užívá se *šroubových vrtáčků*, jakéž se také na matky dřevěné brávají (obraz 184.), jen že, jak se samo sebou rozumí, v přiměřené velikosti. Šrubnicí dají se jen drobná vřetýnka k šroubům hotoviti, poněvadž nástroj tento poněkud nedokonalý jest. Brázdy a vinty se totiž tímto strojem mnohdy více jen stlačením a vytlačením kovu tvoří. Patrno jest to z toho, že hotové vřeteno větší průměr mívá, než jej měl dříve drát. Pro malé šroubky jest šrubnice ovšem nevyhnutelným nástrojem, pro větší vřetena se však nehodí.

Obraz 186.



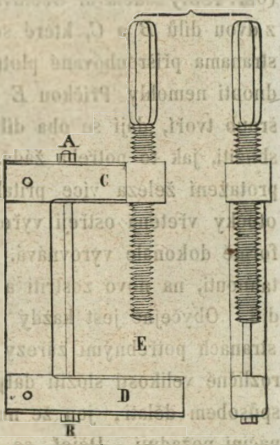
Podobným spůsobem dělají se i šrouby větší, jen že se forma vřetena do zvláštní násady *AD* (obr. 183.) zadělává. Ocelová forma tato skládá se z dvou dílů *B* a *C*, které se do vidlice mezi dvě stranama přišroubované plotny kladou, aby vypadnouti nemohly. Příčkou *E* a ramenem *D*, které šroub tvoří, dají se oba díly šroubové formy *B* a *C* k sobě tak sblížiti, jak to potřeba žádá. Pravidelně se forma po každém protažení železa více přitahuje, aby vždy hloub zasahovala a otočky vřetena ostřeji vyřezávala, až se vybrázděné vřeteno formě dokonale vyrovnává. Po práci se mohou tyto formy vytáhnouti, na novo zostřiti a ztvrditi aneb i docela jinými nahraditi. Obyčejně jest každý díl formy jako zde *B* a *C* na obou stranách potřebnými zářezy opatřen, aby se z nich dvě matice rozličné velikosti složiti daly. I ploché šrouby mohou se tímto spůsobem dělati, jen že mnohem více práce stojí a nákladnější náčiní požadují. Děje se to zdlouha, zvláště když větší jsou, tak že těžkou úlohou jest, ploché šrouby zmíněným spůsobem hotoviti, které v průměru více než 2″ mají. Vinty jejich se pak ještě na soustruhu mezi dřevem aneb zařezaným olovem šmirglem

a olejem vytáčejí. Při větších kovových šroubech hotoví se napřed matice a potom teprv vřeteno, aby se tak dlouho přiřezávati mohlo, pokud do matice dobře nezapadá. Že ostrých tvrdých forem k tomu potřebí jest a že se olejem navlažovati musí, aby se nerozpálily, rozumí se samo sebou. Ostatně stává k hotovení ostrých i plochých šroubů zvláštních strojů, jakož se na strojích i kuželité šrouby kruhovou pilkou z drátů vyřezávají.

K umělým nástrojům musí se velmi pravidelné šrouby hotoviti. Aby matice jejich k vřetenu dobře přiléhala, dělá se z dvou půlek, které se vždy přitáhnouti mohou, když delším již upotřebením šroub otřen jest. Do takovýchto matic vybrušují se brázdy šmirglem na samém vřeteně. Zapadá-li vřeteno dobře do matice, jest okamžitě pohybování pozorovati, jak medle se matice aneb vřeteno točiti počíná. Jinak jde šroub vždy nějakou dobu na prázdno. Někdy se klade k matici za touto příčinou pružné péro, aby vřeteno stále přiléhalo a předce dosti vůle mělo, i kdyby místy nepravidelné bylo.

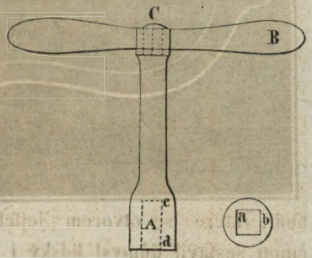
116. Co se upotřebení šroubu týká, jest velmi důležité a rozmanité, ačkoli šroub sám o sobě téměř ani k potřebě není, poněvadž síle řádného působiště neposkytuje. Příklad, kde se šroub bez pomoci jiných strojů upotřebiti dá, poskytuje nám *truhlářský spínák* čili *svěrák* (obraz 187.), jelikož síla bezprostředně na obvodu vřetena působí. Sklížené plochy kladou se totiž pod vřeteno na rameno *D* do místa *E*, aby se dostatečně stáhnouti mohly, když schnouti mají. Pro láci dělají se obyčejné spináky tyto ze dřeva a vážou se někdy železným prutem *AB*, který stranicím *C* a *D* roztahovati se nedopouští. Zámečníci a j. užívají podobných železných spináků.

Obraz 187. *Obraz 188.*



Již při tomto stroji prodlužuje se vřeteno v rukověť, která se buď zakrouží, buď do šesti stran vyhraní, jak na obraze viděti jest. Ku každému šroubu nemůže se však dělati rukověť, ano bývá i potřebí, jako u šroubu kuželitého, aby nejen nevybrážděná část vřetena *B* (obraz 179.), nýbrž i hlavička jeho zcela do plochy dřeva zapadala, jelikož se jí tam z té příčiny i zvláštní lůžko dělává. Poněvadž se šrouby tyto bezprostředně rukou ani pohybovati nedají, protože jí potřebného působiště neposkytují, ukončuje se vřeteno jejich buď v hlavičku dražkou prohnanou, buď ve čtyrhran aneb šestihran, který se pak *šroubovým klíčem* a *klikou* pohybuje. Tak se otáčí šroub kuželitý klíčem čili rozvěrákem a vůbec každým pevným nástrojem, který dobře do dražky hlavy jeho *A* zapadá. Mimo to poskytuje *šroubový klíč* a *klika* i tu výhodu, že se jimi poměr sil značně zvětšuje. Obraz 189. ukazuje šroubový klíč v průmětu svisném, jehož dolejší část s čtyrstraným otvorem *A* vedle i v průmětu vodorovném*) se nalezá v podobě čtyrhranu *a* (o. 190.).

Obraz 189. *Obraz 190.*

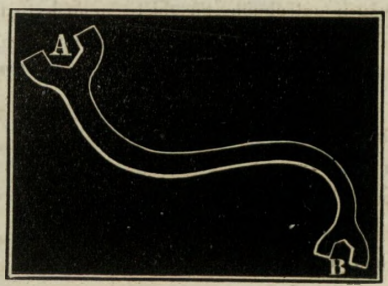


*) Stroje se rejsují pravidelně jen s jedné strany, čímž pro tentýž stroj tolik výkresů povstává, kolik stran má či vlastně kolik se nám jich k jasnému poznání jeho zapotřebí býti vidí. Na takovéto straně vyznačuje se všecko, co se na ní různého pozorovati dá, když na ni kolmo pohlížíme, tedy když oko naše v takové poloze jest, aby kromě tuto stranu žádnou jinou viděti nemohlo. Tento spůsob znázorňování strojů nazývá se *rejsování průmětné* (v projekci), a takový obraz sám slove *průmět* (projekce) předmětu. Představíme-li si stroj v nějaké určité pravidelně v přirozené poloze jeho, nazývají se obrazy stran, které mají směr svisný, které tedy jak říkame stojí, *průměty* č. *projekce svisné*, a obrazy stran, které mají směr vodorovný, které leží, *průměty* č. *projekce vodorovné*. Tak jest obraz 189. průmět svisný kliky *B* s klíčem *A*, a obraz 190. průmět vodorovný dolejší strany klíče *A*. Nebo pohlédneme-li kolmo na tuto stranu klíče, uhlídáme kruhový okraj jeho, pevnou plochu *b* kolem otvoru *A*, hrany otvoru a uvnitř dno otvoru čili ukončující plochu jeho *a*. Chceme-li poněkud i ony

Obraz 191.

Obraz 192

Obraz 193.



Obraz 191. ukazuje kliku pro čtyrhranou a obraz 192. pro šestihranou hlavu vřetena aneb pro matku jeho. Otvorem *A* uchytne se klika šroubu, aby jej ruka koncem *B* otáčeti mohla. Někdy se opatřuje klika otvorem na obou koncích *A* a *B* (obr. 193.), aby větším i menším šroubům zároveň sloužiti mohla.

Již z věci samé vysvítá, že se tyto kliky jen pro takové šrouby hodí, které se otvorem jejich zachytnouti dají. Za touto příčinou sestavil důmysl lidský i takový nástroj, kterým se téměř všecky šrouby svírati a rozvírati mohou. Jestiť to rozvěrák

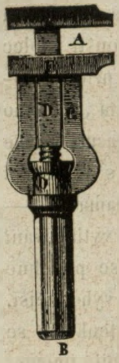
---

částky stroje v průmětu znázorniti, které viděti není, děje se to tečkováním jejich stran, jako zde v průmětu svisném u *A* viděti jest. Strana *dc* značí hloubku otvoru a dále vidíme i dno jeho, tedy totéž, co nám v průmětu vodorovném písmeno *a* vyznačovalo. Vytečkované strany u *C* značí onu část klíče, která do kliky *B* zapuštěna jest. Příklady toho poskytují se nám dosti hojně na přidaných zde obrazech; tak jest na obraze 187. jeden a na obraze 188. druhý svisný průmět téhož spínáku truhlářského, každý s jiné strany. Svisné průměty vidíme skoro na všech zde přiložených obrazech.

O mnohých jednotlivých výkresech se ovšem říci nedá, zdali to průměty svisné anebo vodorovné jsou, jako na př. obr. 191., 192., 193. a j., poněvadž to od pozorovatele závisí, v jaké poloze si kliky tyto mysliti chce. Myslíme-li si, že kliky visí, máme průměty svisné před sebou; leží-li, jsou to pak průměty vodorovné. Z toho následuje, že tento rozdíl jen tenkrát nějakého významu má, když stroj vždy nějakou určitou polohu pro sebe vyžaduje.

Znázorňují-li se stroje tak, aby na nich zároveň více stran viděti bylo, tedy dvě anebo tři, nazývají se obrazy takové *výkresy pohlédečné* čili *perspektivní*, jak to na obrazech 160., 149., 148. a j. viděti jest.

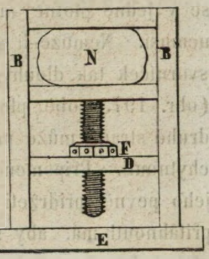
Obraz 194.



čili *klíč všeobecný* (obr. 194.), právě také ze šroubu sestavený. Rukověť *B* jest dutá a tvoří matici, která se v kruhu *O* vidlice *G* volně otáčí a vřeteno *D* v sebe pojímá. Jelikož vřeteno *D* s ramenem *E* otvorem v *F* volně prochází, dá se otáčením matice *B* mezera *A* mezi oběma stranicema *E* a *F* zvětšiti a zmenšiti, jak to matice šroubu požaduje, aby se dobře zachytnouti dala. Rukověť *B* tvoří pak zároveň páku při otáčení vřetena.

117. Namítá se otázka, jak se podmínky rovnováhy ustanoviti dají, když se šroub klíčem, klikou aneb vůbec jakýmkoli ramenem otáčí. Jelikož, jak z prvu řečeno, zákon o rovnosti mechanických momentů také u šroubu svou platnost má, mění se svrchu již zmíněné poměry jen tím, že zde síla větší dráhu koná. Z toho následuje, že břemeno zase tolikráte větší bude než síla, kolikráte dráha síly větší jest než dráha břemena, t. j. kolikráte kruh, který síla klikou opisuje, větší jest než výška otočky šroubu, která současně vykonanou dráhu břemena stanoví. Je-li v výška otočky a R poloměr kliky, jest kruh její $2\pi R$ a následovně uskutečnění srovnalosti $P : Q = v : 2\pi R$ podmínkou rovnováhy. Na tomto základě se dá poměr síly k břemenu u všech šroubů posouditi, které se klíčem, klikou a p. pohybují, aneb ku kterým ramena v rozličné podobě přidělána jsou. Je-li na př. rameno šroubu $6' = 72''$ dlouhé a výška otočky $1''$ velká, jest pak $P : Q = 1 : 2.3{\cdot}14.72 \doteq 1 : 452$, t. j. každá libra síly udržuje tímto strojem 452 lb. břemena v rovnováze, tedy člověk svou obyčejnou silou 25 lb. by byl v rovnováze se 113 centy.

Obraz 195.



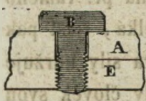
Příklad takové působnosti máme na *lisu obecném* (obr. 195.). Ten se skládá ze šroubu, který do zvláštního stojanu zadělán jest. Příčka *D* jest se stěnama jeho *B* pevně spojena, aby se šroub maticí *F* o ni opírati mohl. Matice *F* jest na stranách svých opatřena otvory, do kterých

se při práci ramena libovolné délky zapouštějí. Otáčením matice *F* zvedá se vřeteno s příčkou čili se stolcem a působí na břemeno *N*, které na něm spočívá. Právě tak se pouští stolec dolů, aby se předmět odejmouti mohl. Je-li hořejší příčka stojanu k stěnám jeho *B* a k podlaze *E* pevně přidělána, možno na břemeno *N* působiti velikým tlakem, jelikož současně i více lidí matici otáčeti může. Stolec či příčka, která s vřetenem pevně spojena jest, jezdí ve zvláštní dráze mezi stěnama *B*. — Lis tento slouží k zabalování, bednění (pakování), k vytlačování rozličné šťávy, oleje a j. V novější době hotoví se podobné šrouby ze železa, poněvadž jsou trvanlivější a k práci výhodnější.

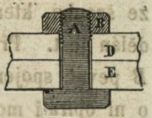
Z toho ze všeho vysvítá, že se šroubů teprv tenkráte se značnou výhodou použiti dá, když se s jinými stroji, jmenovitě s pákou spojí. Nebo i tam, kde matku rukama otáčíme, působíme již na páce, jelikož obvod rukověti většího průměru bývá než vřeteno šroubu. Přidáním páky nabývá šroub nejen účinlivosti, než i zvláštní způsobilosti k výkonům života praktického.

118. Šroub slouží k rychlému otáčení, jako to známo na šroubové násadce na vrtáčky. Svou závitnicí slouží co vývrtka (Stopfelzieher) korkových zátek z láhví a p. Šroubem se zařizují nejrozmanitější lisy (presy), svěráky, utahovače, spináky a t. d. Šroubem se dají i rozličné hmoty, jmenovitě desky, vespolek vázati a přitahovati. Odtud ony rozmanité druhy *svorníků* (Bolzen) a rozličné spůsoby *vintování*. Jedna plotna *A* (obraz 196.) se vyvrtá a do druhé *E* udělá se matice pro svorníček *B*, který se dle potřeby klikou přitáhne, aby plochy náležitě k sobě sblížil. Takového zařízení dá se však jen tenkráte užiti, když se v jedné plotně matice udělati může a šroub často rozvírati nemusí. Nemůže-li se však matice v plotně vybrázditi, dělá se svorníček tak dlouhý, aby konec vřetena jeho *A* (obr. 197.) obě plotny *E* i *D* přesahoval. Na druhé straně může pak jej zvláštní matice *B* zachytnouti. Připomenouti však sluší, že se hlava jeho pevně přidržeti musí, když se matkou *B* přitáhnouti má, aby se s ní zároveň neotáčel. Zmíněné otáčení

Obraz 196.

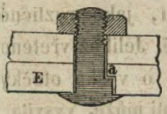


Obraz 197.

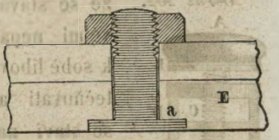


by se nedělo, kdyby svorníček uprostřed čtyrhraný byl; poněvadž ale dělání čtyrhranných otvorů mnohem více práce požaduje, přidělává se, aby se tomu přece vyhovělo, raději k svorníčku zvláštní zoubec *a*, jak obr. 198. ukazuje. Do desky *E* udělá se pak pilníkem v otvoru potřebný zářez. Při litině mohou se čtyrhrané výhlubně již v deskách dělati, aby se čtyrhraná hlava šroubu *a* (obr. 199.) již v desce *E* zachycovala a šroub se pak matkou libovolně přitáhnouti dal. Nesmí-li se zpodní deska *E* (obr. 200.) provrtati, navrtá se jen a matka v ní zhotoví. Zapuštěný tam šroub *A* hořejší deskou *D* přitáhne se dle potřeby maticí *B*. Má-li se ke kamenům a podobným hmotám *B* (obraz 201.) nějaký předmět *E* šroubem přitáhnouti, udělá se do hmoty *B* otvor *D* o něco větší a háčkovitě zasekané vřeteno *A* se tam olovem aneb jinou látkou zalije, aby se pak maticí *F* dostatečně přitáhnouti mohlo.

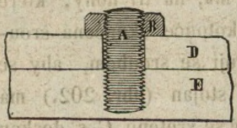
Obraz 198.



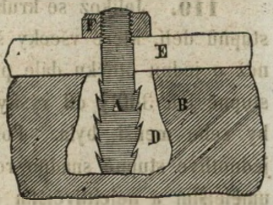
Obraz 199.



Obraz 200.



Obraz 201.

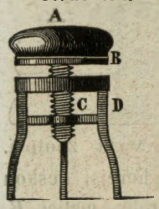


Možnost úsilného stáhnutí a pohodlí v celém zařízení takové vazby jest příčinou, že se šroubových svorníků vždy užívá, když průměr jejich větší býti nemá než 1·5″. Jako svrchu klíny, tak se mohou i dvěma šrouby železné tyče vespolek přitahovati, aby se jimi stěny a j. vázaly. Oba konce tyčí opatří se šroubovým vřetenem, tak aby se otočky na jednom v pravo a na druhém v levo vinuly. Zapustí-li se každý do jednoho konce hnízda čili mufle, která na obou koncích zmíněným vřetenům přiměřené matky má, mohou se pak otáčením mufle na jednu stranu obě vřetena k sobě zároveň sbližovati anebo v protivném směru také vzdalovati.

Poněvadž se šroubem s pákou spojeným velký poměr sil

uskutečniti dá, užívá se šroubů téměř všude, kde úsilnějšího tlaku potřebí jest. Z těchže příčin slouží šroub v životě praktickém velikému množství náčiní a nástrojů, které věci svírati, stlačovati, stahovati a vůbec pevně držeti mají, jako rozličné svěráky, tak zvané klubny, zavírky a mnohé jiné. Jelikož vřeteno šroubu, teprv když se celý v kruhu otočí, o výšku otočky postupuje, která se sama v sobě dosti malá dělati může, vysvítá, že se stává šroub také nástrojem, kterým se i velmi nepatrné nerovnosti vyrovnávati, hmoty k sobě libovolně sbližovati, polohy potřebné uskutečňovati a jiné umělé práce konati dají. Tak se staví na př. téměř každý stroj, kterému se poloha vodorovná dávati má, na tři nohy, které nic jiného nejsou než v kotouče ukončená šroubová vřetena. I židlice a sedadla opatřují se šroubem, aby se libovolně zvýšiti a snížiti daly. Třínohý stojan (obr. 202.) má v hořejší plotně vybrázděnou matici, v které se vřeteno *C* s deskou *B* a k ní přidělaným polštářem *A* sem tam pohybovati může.

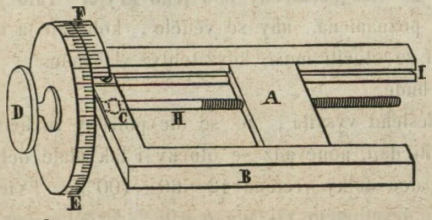
Obraz 202.



119. Jelikož se kruh na 360 stejných dílů, známých totiž stupňů dělí, které všecky šroub obvodem svým proběhnouti musí, než o jednu otočku dále postoupí, vysvítá, že oběhnutí jednoho stupně jen 360tý díl výšky jedné otočky šroubu obnáší, třeba by sebe menší byla. Poněvadž se na každém větším kruhu jednotlivé stupně snadno rozeznávati dají, stává se šroub nejumělejším a nejcitlivějším nástrojem, kterým se vzdálenosti a tloušťky předmětů a vůbec všecky rozměry snadno určitě stanoviti dají. Máme-li vřeteno, jehož otočka na př. $1'''$ vysoká jest, opatřené dobře rozděleným kruhem, musíme tento o 30^{0} otočiti, aby vřeteno o $1''''$ postoupilo; otočí-li se jen o jeden stupeň, obnáší postup vřetena toliko 30tý díl bodu čili 360tý čárky. Potřebí však, aby výška otočky, která uměle zhotovena býti musí, všude co možná pravidelná a náležitě odměřená byla a ve všech částích k brázdám matice těsně přiléhala. Při pravidelném šroubu ustanoví se výška otočky umělejí, když se výška několika otoček změří, poněvadž se chyba, které se při měření ani vyhnouti nelze, na tolik dílů rozpadne, kolik otoček se

k tomu bylo vzalo. Takto zařízené stroje nazývají se *drobnoměry* (mikrometer).

Obraz 203.



Obraz 203. ukazuje podstatnou část takového stroje. *H* jest šroubové vřeteno, které se v kotouč *E* ukončuje. Otvor tohoto kotouče rozděluje se co možná pravidelně na 360 stejných dílů, a aby se rukou volně otáčeti mohl, přidělává se k němu knoflík *D*. Vřeteno *H* jest v místě *C*, kde do zhlavíčka padnouti má, zkulaceno aneb kroužkem opatřeno, aby se stranou pohybovati a posouvati nemohlo. Ve stranicích rámce *B* jsou dražky, jak u *I* viděti jest, aby se v nich příčka čili stolec *A*, který v sobě matici šroubu chová, volně pohybovati mohl. Zapotřebí jen ještě určitého bodu, od kterého by se při skutečném měření vycházeti mělo. K tomu slouží k rámci upevněný oblouk *F*, kterého zároveň co drobnídka *(nonius)* použiti lze, aby se i menší dílky, na př. desetiny oněch délek stanoviti mohly, které s otočením kotouče o jeden stupeň souhlasí. Předmět, jehož rozměry se pozorovati mají, položí se tak, aby bod, od kterého měření počíti má, s jednou kolmou stranicí příčnice *A* v téžé ploše byl. Nyní se pozoruje, kolikráte a kam až se kotouč *H* otočiti musí, aby tatáž strana příčnice do jedné plochy padla s bodem, kde se měření skončiti má. — Také se předmět mezi příčnici *A* a čtvrtou stranu stroje, která na obraze vynechána jest, klásti může, by se změřil. Příčnice *A* se napřed strojem tak přitáhne, až se předmět na obou stranách se strojem stýká. Na to se předmět vypustí a od téhož bodu počínajíc vřeteno tak dlouho otáčí, až se příčnice se čtvrtou stranicí setká. Počet okolů ukáže velikost předmětu v tomto rozměru. Jinak se klade předmět na příčnici, která co stol c slouží, a pozoruje se drobnohledem,

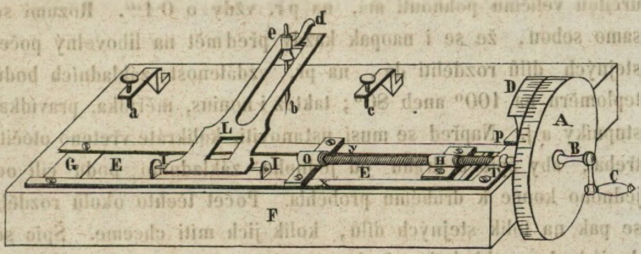
počínajíc od jednoho konce až k druhému. Aby se délka jeho určitě ustanovila, užívá se vlasu. Zprvu se poloha předmětu tak zařídí, že vlas začátečný bod jeho kryje. Tato poloha kotouče *E* se poznamená, aby se vědělo, kolikráte a až ku kterému stupni se otočiti musí, když tentýž vlas konečný bod předmětu kryti bude.

Z předešlého vysvítá, že se dle potřeby rozličné drobnoměry hotoviti dají, poněvadž se otočky i tak malé dělati mohou, že jich na palec délky vřetena 12—60—100 ano i více přichází. Má-li se na desetinném základě měřiti, rozděluje se kotouč na 100 dílů, na kterých se drobnídkem i ještě desetiny rozeznávají. Je-li na př. na délce jednoho palce vřetena 10 otoček, ustanovuje se takovýmto zařízením rozměr předmětu dosti určitě na 4 desetinná místa, t. j. desetitisíciny palce. Tímto spůsobem dá se také výška otočky na hotovém stroji, jakož i výška každému dílku kotouče přináležející snadno ustanoviti. Vezme se totiž dobře změřený předmět a pozoruje se, kolik otoček vřetena potřebí jest, aby se mu v známém rozměru vyrovnaly *).

120. Právě tak se ustanoví, mnoho-likráte se vřeteno otočiti musí, aby o nějaký určitý rozměr, na př. o 0·01″ dále postoupilo. Z toho následuje, že se takovýmto strojem také na předměty stejné dílky přenášeti dají. Aby se to pohodlněji díti mohlo, třeba jen do hybné příčnice *A* zadělati raménko, kteréby se s ní zároveň pohybovalo. Drží-li v sobě raménko tužku neb nějaké rydlo, mohou se jím dílky tyto i na předmětu vyznačovati. Místo jednoduchých stranic dává se stroji podoba stolce, aby se předměty, které se děliti mají, také na něj klásti mohly. Stolec tento dělá se buď z kovového plechu, buď z dobře vyschlého tvrdého dřeva, aby pravidelný povrch svůj neztratil. Patrno, že tak povstane *dělicí stroj*, který ve zvláštní své podobě na obraze 204. viděti jest. Kotouč *A* s vřetenem šroubu jest tentýž jako svrchu, s tím toliko rozdílem, že se u hrubších strojů místo vrubovaného knoflíku k prodlouženému vřetenu *B*

*) *Auzour* († 1693.) vynalezl *mikrometr* se šroubem. Bylť to první nález, jímž se zařízení francouzské akademie věd vyznačuje.

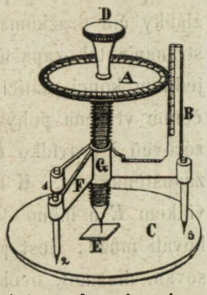
Obraz 204.



klika C přidělává, aby se volněji otáčeti dalo. Jedním koncem spočívá vřeteno svou skulacenou částí v zhlavíčku *T*, aby se pošinouti nemohlo, druhým v příčce *O*, která k dvěma s vřetenem rovnoběžným mosazným pravídkům *x* a *y* přišroubována jest. Tato pravídka jsou přidělána k dolejší plotně *G* a opatřena dvěma žlábky čili dražkama. Do těchto jest jiné mosazné pravídko *E* stranama tak zapuštěno, aby se v nich vřetenem, s kterým na jednom konci matici *H* spojeno jest, volně pohybovati dalo. Otáčením vřetena pohybuje se matice *H* od *P* až k *O* a s matici zároveň i pravídko *E*, do kterého ložiska pro osu *I I* ramena *L* zapuštěna jsou. K ramenu *L*, které se po délce zároveň s pravídkem *E* a mimo to i kolem své osy *I I* v kolmé ploše pohybovati může, jest připevněn zašpičatělý nástroj *b* (tužka, rejsovka, diamant, ocelový nožík, rydlo a j.), kterým se jednotlivé dílky vyznačovati mají. Ve vidlici ramena *L* jsou po stranách dva žlábky, ve kterých se násadka *e* na tužku *b* pohybovati a tak vždy *x* náležité poloze upevniti může. Mají-li se jím čárky pravidelně dělati, jest takového zařízení potřebí, aby pohybování v kolmé ploše možné bylo a značky se dle potřeby větší a menší dělati daly. Aby dělení co možná určité bylo, jest k stolci *F* přidělán dobře rozdělený oblouk *D* co nonius kotouče *A*. Mají-li se na př. mosazná pravídka děliti, mohou se upotřebená rydla i závažím v *d* obtěžkávati, aby vyznačení ostřejší bylo. Svorníčkem *a* a *c* dá se předmět (proužek papíru, dřevěná neb kovová deska a p.) na stolci *F* upevniti, při čemž se na to pozor dáti musí, aby směr, ve kterém se předmět děliti má, s vřetenem rovnoběžný byl. Zvýšky, kterou má otočka vřetena, se vypočítá, o

kolik dílků se kotouč *A* dále otočiti musí, když se o nějakou určitou veličinu pohnouti má, na př. vždy o 0·1‴. Rozumí se samo sebou, že se i naopak každý předmět na libovolný počet stejných dílů rozděliti dá, na př. vzdálenost základních bodů teploměru na 100° aneb 80°; taktéž i nonius, měřídka, pravídka, stupníky a j. Napřed se musí ustanoviti, kolikráte vřeteno otočiti třeba, aby špic *b* dráhu od jednoho základního bodu čili od jednoho konce k druhému proběhla. Počet těchto okolů rozdělí se pak na tolik stejných dílů, kolik jich míti chceme. Špic se do jednoho základního bodu zasadí a kotouč *A* o náležitou část otočí, aby se diamantem aneb tužkou první dílec vyznačil. V tom se pokračuje, pokud rourka aneb jiný předmět stačí, aneb až tam, kde dělení ukončiti chceme.

Obraz 205.

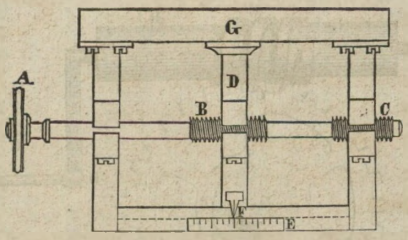


Jedná-li se jen o měření tloušťky hmot, mění se podoba svrchu zmíněného stroje a tím i jmeno jeho. Obraz 205. ukazuje příhodný k tomu stroj, tak zvaný *sferometr*. Vřeteno šroubové, na kterém právě zase na stejné díly uměle rozdělený kotouč *A* a vrubovaný knoflík *D* jest, stojí v matici své *G*, která se v třínožku rozbíhá. Špice 1, 2, 3, na nichž matice spočívá, jsou v tétéž ploše jako kotouč *C*. Aby se i jednotlivé body pozorovati mohly, má vřeteno k dolejšímu konci svému přidělanou jehlu. Co možná uměle na stejné dílky rozdělený sloupek *B* slouží k tomu, aby se jím výška předmětu stanovila. Je-li stroj tak zařízen, aby začátečný bod kotouče s polohou nuly na rozděleném sloupku souhlasil, když se všecky čtyři špice v tétéž ploše nacházejí, ukazuje měřídko toto přímo výšku předmětu *E*, když se ho zašpičatělý konec vřetena dotýká. Jednotlivými dílky rozděleného kotouče *A* mohou se také i malé částky dílků sloupku *B* vyznačovati. Při skutečném měření jest zapotřebí, aby se vřeteno tak dlouho otáčelo, až se špicí předmětu *E* dotýká, aniž by při tom některá jiná špic třínožky od plochy odstávala. Otočce se může dáti určitá výška, na př. 0.1‴ velká, a rozdělení kotouče jí pak přiměřiti. I sloupek *B* může dle

výšky otoček rozdělen býti, aby kotouč po každém otočení o jeden dílec postupoval. Za podlohu *C* hodí se nejlépe tabule skla. Že se strojem tímto také ustanoviti dá, která místa nějakého tělesa vyšší a která nižší jsou, rozumí se samo sebou. Dotýká-li se špic vřetena předmětu a vedeme-li vřeteno po něm, bude některá noha odstávati, když předmět pravidelný není. Tak se dá na př. posouditi povrch skleněných tabulí, čoček a j. Ostatně netřeba ani připomínati, že šroub co možná uměle zhotoven a celý stroj právě tak zařízen býti musí.

Jak svrchu zmíněno, dá se šroubem každý i dosti nepatrný rozměr ustanoviti, musí však k tomu otočky vřetena nízké býti, čímž se často vinty jejich velmi seslabují. Aby postup šroubu dosti malý byl a otočky potřebné pevnosti předce nepozbývaly, užívá se někdy dvou šroubů na jednom vřeteně s tímž výsledkem, jako to u dvouhřídelného rumpálu viděti bylo. Obraz 206. uka-

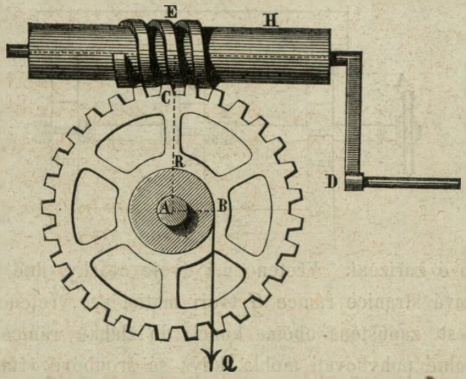
Obraz 206.



zuje takové zařízení. Vřeteno má dvoje otočky, jiné u *B* a jiné u *C*. Pravá stranice rámce *G* tvoří matici pro vřeteno *C*. Příčnice *D* jest zapuštěna oběma konci do žlábků rámce, aby se v nich volně pohybovati mohla, když se šroubové vřeteno otáčí. Ručička *F* jest upevněna k příčnici a dosahuje na rámec, aby se pohybování její na stupníku *E* pozorovati dalo. Příčnice má pohybování dvojí: jedno, které vlastně kotouči a také jí přináleží, protože s ním spojena jest, a druhé, které sama co hybná matice koná. Poněvadž tyto dvě dráhy protivný směr mají, objevuje se vždy jen rozdíl čili výslednice jejich. Je-li na př. u *C* výška otočky 3‴ a u *B* výška otočky 2‴ velká, pohne se vřeteno po jednom otočení o 3‴ k levé, kdežto příčnice v tétéž

době o 2‴ k pravé postoupí, tak že výsledek na ručičce 1‴ k levé obnášeti bude. Taktéž i naopak, kdyby pohybování protivný směr mělo. Že se zde jako svrchu u hřídelů libovolný rozdíl výšky otoček brati může, rozumí se samo sebou. Je-li to na př. 0·1‴, rozpadne se na sto aneb i více dílů, když se kotouč souhlasně na tolik částek rozdělí a stroj ještě ručičkou a drobnídkem opatří. Jak patrno, dá se tímto spůsobem velmi zdlouhavé pohybování uskutečniti. Považíme-li však, že se pohybováním na strojích poměr síly k břemenu řídí, vysvítá, že se strojem tímto i velkého poměru síly k břemenu docíliti dá, poněvadž břemeno v té míře větší býti musí než síla, v jaké pohybování její větší jest než dráha břemena. Udělají-li se otočky vřetena dosti silné, může se každý poměr síly k břemenu tímto strojem uskutečniti, poněvadž se rozdíl výšky otoček zcela libovolně, tedy dosti velký a naopak i tak malý dělati může, jak by se zapotřebí býti vidělo.

Obraz 207.



121. Aby se poměr síly k břemenu na rumpále značně zvětšiti mohl, používá se k tomu také šroubu. Obraz 207. ukazuje spojení těchto dvou strojů v jeden. Z hřídele povstalo zde vřeteno šroubu, který svými otočkami do zubů kola zasahuje a je co břemeno na své nakloněné ploše vždy výše zvedá a tím otáčí. Jelikož napořád jiné zuby kola k otočkám se blíží, postačuje i také jen několik otoček, poněvadž se k zubům stále vracejí. Z té příčiny se nazývá také stroj tento *šroub bez konce.*

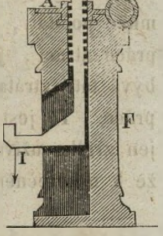
Břemeno Q navinuje se jako obyčejně na hřídel jeho AB. Aby se zuby kola vřetenu E co možná přiměřily, dělají se šikmo na věnec kola, právě tak, jak to otočky svou podobou žádají. Proto se také poněkud vykružují, jakoby matici nahražovati měly. Podmínky rovnováhy se ustanoví, když se každý stroj sám o sobě posoudí. Břemeno bude na otočce E tolikráte větší než jest síla na klice D, kolikráte výška otočky obsažena jest v kruhu, který klika opisuje. Břemeno na otočce jest zároveň silou na zubech kola, která na hřídeli břemeno tolikráte větší v rovnováze udržovati bude, kolikráte poloměr hřídele $AB = r$ menší jest než poloměr kola $AC = R$. — I naopak bychom mohli počínati od břemena Q a působnost jeho z hřídele AB přenášeti na kliku D. Úsilí jeho v jednotlivých zubech kola, tedy i na otočkách šroubu jest tolikráte menší, kolikráte poloměr kola R větší jest než poloměr hřídele r. Aby na stroji rovnováha byla, potřebí na klice síly tolikráte menší než jest působnost břemena na otočky, kolikráte obvod klikou opsaného kruhu větší jest než výška otočky čili dráha, kterou každý zub kola jedním otočením kliky vykoná. Je-li a poloměr kliky D, bude

na vřeteně $P : q = v : 2\pi a$,
na kole $q : Q = r : R$

a z toho $P : Q = vr : 2\pi aR$.

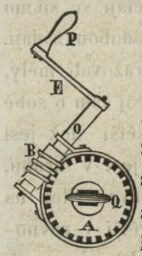
Jako vůbec i zde se snadno ukáže, že účinek na obou stranách stejný jest, čili že se mechanický moment síly rovná mechanickému momentu břemena, což již z hořejšího následuje, jelikož $P . 2\pi aR = Q . vr$ jest. Šroub tento dělá mnohdy v praktickém strojnictví i tím velké služby, že se jím pohybování z hřídele na hřídel přenáší, když hřídele na sobě kolmo stojí.

Obraz 208.



Jiný stroj, kterým se pomocí šroubu veliký poměr sil uskutečniti dá, jest *šroubový zvedák anglický*, který se z kliky a z dvou šroubů skládá. Obraz 208. znázorňuje průřez jeho. — K snadnějšímu přehlédnutí jest hořejší část zvlášť vyobrazena a stejné předměty stejnými písmeny vyznačeny. Obraz 209. ukazuje vlastně vodorovnou projekci stroje. Tělo jeho jest železný dutý válec F, ve

Obraz 209.



kterém se silné šroubové vřeteno D nahoru a dolů pohybovati může. Hořejší ozubená deska A, která se otáčeti může, tvoří zároveň matici pro vřeteno D. Zuby této desky pohybují se šroubem bez konce B, který se klikou E otáčí. Aby se břemeno Q zvedati mohlo, opatřuje se vřeteno nahoře zvláštním sedlem. Také dole se ukončuje v podobě háku I, aby se břemeno, když třeba, i tam zavěsiti mohlo. Poněvadž se celý stroj z dvou šroubů skládá, ustanoví se podmínky rovnováhy, když se poměr sil na jednom šroubu porovná s poměrem sil na druhém šroubu. Je-li r poloměr kliky, v výška otočky šroubu B a q účinek břemena na zuby kola, tedy i na šroub, jest $P : q = v : 2\pi r$. Je-li r' poloměr ozubené desky A a v' výška otočky vřetena D, bude $q : Q = v' : 2\pi r'$. Spojením obou těchto srovnalostí obdržíme

$$\left.\begin{aligned} P : q &= v : 2\pi r \\ q : Q &= v' : 2\pi r' \end{aligned}\right\} \quad P : Q = v.v' : 2\pi r.2\pi r' = v.v' : 4\pi^2 rr'.$$

Sblíženě jest $P : Q = vv' : 39{\cdot}48\,rr' = vv' : 40.rr'$. Poněvadž u jednoduchého šroubu účinek síly tak velký jest jako účinek břemena, platí to i u tohoto stroje, který se z dvou šroubů skládá. Síla koná v práci dráhy veliké, břemeno však jen velmi malé; proto slouží stroj tento k zvedání největších břemen.

Za příčinou velikého poměru síly k břemenu, který se na šroubu uskutečniti dá, byl šroub dlouhý čas považován za stroj nejúčinlivější a nejvýhodnější. Šroub však tím znamenitě tratí, že u něho překážky z tření povstávající příliš velké jsou, větší než u jiných strojů, čímž se mnoho práce maří. V průměru se může počítati, že se u šroubů kovových třením dvakrát tolik práce ztrácí, jako se jí strojem vykoná. U šroubů dřevěných bývá tato ztráta 4- i 5krát tak velká jako strojem vykonaná práce. To jest příčinou, že se strojů šroubových k stálé práci jen zřídka užívá. Velká výhoda šroubových strojů záleží v tom, že k uskutečnění velkého poměru sil jen málo místa potřebují.

O strojích vůbec.

126. Ohlédneme-li se po strojích, které jsme vyobrazili a vzhledem na působnost jejich posoudili, shledáme, že se u všech bez rozdílu uskutečňuje tentýž přírodní zákon, dle kterého se při skutečné práci jen tenkráte menší síla upotřebiti dá než břemeno jest, když síla právě v té míře větší dráhu konati může než břemeno, a naopak se může břemeno vždy rychleji pohybovati než síla, když v téžé míře menší jest než tato. Příklad takového rozkladu práce máme na mlýně, kde se okamžitě pohybování zrychluje, jak medle kámen méně zrn semílá, t. j. když břemeno menší jest, tak že z toho i také poznáváme, jde-li mlýn na prázdno. Stává-li se totiž jeden činitel práce menší, zvětší se druhý. Z toho následuje, že na každém stroji, kde dráha břemena tak velká býti má jako dráha síly, i síla právě tak velká býti musí jako břemeno. Patrno, že se v tomto případu na síle či vlastně na účinku ničeho nezískalo. Jelikož se práce z vykonané dráhy právě tak skládá, jako ze síly, které se bylo při tom upotřebilo, vysvítá, že strojem zhotovená práce právě tak velká jest jako upotřebená práce síly, která na stroj byla působila, následovně *že stroj také více práce nekoná než upotřebená síla sama beze stroje, že tedy stroj ze sebe více účinku nevydává, než co se bylo silou do něho přeneslo.* V pravdě nedá se ani mysliti, aby příroda jaksi něčeho ztráceti mohla na právu svém. Každá určitá síla má právě zase jen nějaký určitý výsledek, který si příroda na silách svých žádným přístrojem měniti nedá.

Pravost výroku tohoto dala by se ve všech i dosti složitých případech ukázati, když by se velikost sil a vykonané dráhy náležitě oceňovala. K tomuto účelu třeba jen uvážiti, že se účí-

nek síly v jiném směru mysliti nedá, leč ve kterém síla působí. I v tom případu, když účinek na nějaký určitý směr vázán jest, jeví se tento jen potud, pokud směr účinku do směru síly padá, jak již svrchu (13.) vysvětleno. Působí-li více sil na tentýž bod, musí se tedy každé jednotlivé síle ona část celistvého účinku přičísti, která do směru jejího padá. Z toho následuje, že se účinek sil vůbec, následovně i vykonaná dráha při skutečném pohybování vždy jen v tom směru pozorovati čili oceňovati musí, ve kterém každá působí. Ohlédneme-li se po předešlých příkladech, objasní se nám to jmenovitě obrazem 157. Stáhne-li váha břemena R o nějakou část dráhy za sebou břemeno Q, přijde-li na př. břemeno R z bodu H do L, přijde Q z bodu E do F. Dráha EF jest právě tak velká jako HL, poněvadž se provaz na jedné straně o tolik prodlouží, oč se byl na druhé zkrátil. Totoť platí také ve všech případech, ať sklon ploch jakýkoli jest. Obě síly Q i R působí však svisno, směrem tíže. R spadlo o IL, Q však vystouplo o GF, tak že IL a GF jejich vykonané dráhy jsou, a $R.IL = Q.GF$ býti musí. Kdyby se dráhy EF a HL podržeti měly, musily by se ony síly pozorovati, které ve směru jejich působí, a to jest potažná tíže hmot Q a R. Odtud ta souhlasnost, jelikož v rovnováze potažná tíže jedné hmoty právě tak velká jest jako druhé hmoty, musí také $EF = HL$ býti. — Představíme-li si, že hmota z bodu M (obr. 42.) působením sil P a Q na dráze Y do O postoupí, jest Ma dráha, kterou síla P, Mb dráha, kterou síla Q, a konečně Mc dráha, kterou při tom výslednice jejich V udělala. Dle hořejšího musí opět býti $V.Mc = P.Ma + Q.Mb$ t. j. mechanický moment výslednice tak velký, jako součet mechanických momentů sil (31.*). Jako v těchto dvou příkladech, dalo by se to i v každém jiném ukázati, kdyby se vykonané dráhy sil náležitě oceňovaly.

V těchto a podobných příkladech však předpokládáno, že pohybování setrvalé a směry sil v působení jejich neproměnné zůstávají. Již z věci samé vysvítá, žeby tato věta platnosti své pozbyla, kdyby se po čas působení síly buď směr, buď velikost její měniti měla. Vezmou-li se doby dosti krátké, aby se všecky

změny ve velikosti a ve směru sil nepatrnými staly, tedy téměř mizely, bude míti věta o rovnosti momentů mechanických i v tomto případu svou platnost, tedy *všeobecnou platnost*, když vykonané dráhy nekonečně malé jsou. V takovémto všeobecném pojmu přírodní pravdy této nazývá se každá taková nekonečně malá dráha nějaké síly *rychlostí virtuelní*, tak že pak i věta sama v tomto nejširším pojmu svém *větou rychlosti virtuelní* slove*).

*) Jak známo, nesáhá strojnictví dále než k *Aristotelu*. Ačkoli tento znamenitý Řek ještě žádného jasného pojmu o páce neměl, vyřknul předce již s jakousi určitostí známou základní větu mechaniky, že totiž dvě síly na páce stejné výsledky mají, když se rychlostí pohybují, která s velikostí jejich v převráceném poměru stojí. Výrokem tímto dala by se byla páka ano všecky ostatní stroje vzhledem na rovnováhu vysvětliti. Stejné výsledky musily by se totiž vespolek rušiti, z čehož by se podmínky rovnováhy snadno vyvodily; než tak hluboko nevniknul do věci *Aristoteles*. Později dělaly se ovšem rozličné pokusy, byly ale nejapné a velmi neurčité. Pěkný začátek učinil konečně r. 1577. *Quido Ubaldi*, který učil, že na páce a na hybné kladce síla s břemenem v převráceném poměru drah stojí, které v témž čase konati mohou. On se pokoušel pravost toho i u ostatních strojů dokázati. Současně pojal *Varro* (1584.) tuto základní větu důkladněji a všeobecněji. Od těch dob se také již počaly stroje tímto spůsobem všeobecně vykládati, tak že Francouz *Salomon de Caus* (1616.) i působnost šroubu a ozubených kol na tomto základě stanovil.

Galilei († 1641.) poznal pravost této věty na nakloněné ploše a na strojích z ní odvozených, ano on ji pojal již poněkud i ve všeobecnosti její. Praví totiž v tehdejším spisu svém, že vždy téhož času potřebí jest, aby nějaká síla dané břemeno na určitou výši zvedla, ať se to pak děje jak chce. *Galilei* také již vyložil, že výhoda strojů jen v tom záleží, aby práci dle potřeby rozkládaly. On si vykládal zvedání velkých břemen rozkládáním jich na malé, jakoby se tyto po sobě zvedaly.

Descartes († 1650.) upotřebil větu momentů mechanických k vysvětlení všech strojů. On založil na této větě celou svou mechaniku, již byl k vůli otci slavného *Huyghena* sepsal, který si v takových věcech liboval. Vykládalť již zcela určitě, že upotřebené síly tak se k sobě mají jako převrácené dráhy, které při práci vykonávají. Již *Descartes* dal tedy větě takovou formu, jakou má nyní.

Jan Bernoulli († 1748.) byl však první, který pojal větu o *rychlosti virtuelní* v celé všeobecnosti její, který také poznal užitečnost její k rozluštování všech úloh statiky. *Lagrange* (1813.) vyvinul konečně

Je-li všeobecná platnost této věty dokázána, možno jí vysvětlovati působnost všech strojů, poněvadž zákon, kterým se každý řídí, jen jednotlivým zvláštním případem této všeobecné pravdy jest. Jako jsme z podmínek rovnováhy u jednotlivých strojů na rovnost mechanických momentů soudili, tak možno i naopak z mechanických momentů čili vůbec z rychlosti virtuelní vyvinouti u všech strojů podmínky rovnováhy jejich *).

Z předešlého vysvítá, že si všecky stroje vespolek v tom rovny jsou, že se účinky všech účinkům na nich upotřebené síly vyrovnávají. Považíme-li konečně, že člověk i stroj pohybovati, na př. kolec voziti, nůši nositi, okov zvedati a jiné konati musí, co k práci skutečné nepřináleží, uznáme, že se tím i účinek síly na stroji částečně ruší, t. j. že síla z části bez účinku zůstává. Vezme-li se i na to ohled, že každý stroj sám o sobě poskytuje síle rozličných překážek *třením a jiným odporem*, bude patrno, že účinek čili pravý výsledek stroje *vždy menší jest než prostý účinek upotřebené síly*, a že se následovně onen

---

tuto větu rozumovým spůsobem, vzal ji za základ své analytické mechaniky a odvodil z ní všecky známé případy statiky. Od těch dob přešla věta o *rychlosti virtuelní* téměř do všech spisů o mechanice. *Lagrange* ukázal, že se všecky případy statiky, ať jsou jakékoli, z virtuelní rychlosti vyvoditi dají; ano on tvrdil, že tato věta i pro všecky zvláštní případy statiky svou platnost míti musí, *kteréby se kdy snad ještě vynalezti mohly*. V pravdě položil meze výrokem tímto všem dalším nálezům v tomto směru!

*) Na nakloněných plochách (ob. 157.) jest $R.IL = Q.GF$, a z toho povstane $\frac{R}{Q} = \frac{GF}{IL} = \frac{EF.\sin\alpha}{LH.\sin\beta}$, a jelikož $EF = HL$ jest, také $\frac{R}{Q} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$ čili $Q\sin\alpha = R\sin\alpha$, jak svrchu již ukázáno.

Kdyby více sil na bod aneb na nějaký pevný celek vůbec tak působilo, aby vespolek v rovnováze byly, ukázalo by se, že při každém buď si jakémkoli pošinutí algebraický součet všech virtuelních rychlostí nulou jest. Představíme-li si, že síla V (obr. 42.) na bod M v protivném směru působí, budou síly P, Q a V v rovnováze. Stane-li se pošinutí celku z bodu M do O, bude dráha síly V, totiž Mc, negativní, poněvadž se v protivném směru koná, než ve kterém síla působí. Dle toho mělo by $P.Ma + Q.Mb + V.(-Mc) = 0$ býti, což již svrchu (31. *) dokázáno, jelikož $V.Mc = P.Ma + Q.Mb$ jest.

stroj za nejlepší považovati musí, jehož účinek se účinku upotřebené síly nejvíce blíží. Z toho již samo sebou následuje, že stroje, které jsou nejjednodušší, jsou i nejvýhodnější, když jinak požadavkům zadost činí. Čím složitější, tím více ztrácí se na účinku upotřebené síly.

127. Poněvadž stroj jen tak dlouho práci koná, pokud na něj síla působí, a jen tolik práce poskytuje, co jí na něm byla síla vykonala, namítá se otázka, v čem by tedy hlavně mohla záležeti výhodnost jejich?

Přehledně dala by se výhodnost a důležitost strojů vyznačiti následujícími důvody:

1. *Strojem se dá uskutečniti každý libovolný poměr síly k břemenu*, t. j. *strojem se můžeme odvážiti s každou silou na jakékoli břemeno.* U páky vůbec bylo viděti, jak se rameno síly zvětšovalo aneb jak se počet pák a kol zmnožoval, aby se tatáž síla s větším a větším břemenem v rovnováze udržeti mohla. Totéž se dělo u nakloněné plochy, jmenovitě u šroubu, kde se poměry takřka neobyčejné velikosti objevovaly. Ačkoli se na síle těmito stroji ničeho získati nemůže, poskytují předce možnost, aby se tatáž nezmnožená síla, kde toho potřeba žádá, s každým břemenem v účinku vyrovnala. Nebo z hořejšího vysvítá, že účinek čili práce každého stroje součinem dvou činitelů jest, t. *síly* a *dráhy*, kterou tato v působnosti své vykonává. Považíme-li, že se každý součin nesčíslněkrát ve dva rozličné činitele rozložiti dá, vysvítá, že i každá práce nesčíslněkráte jiným spůsobem se vykonati může, aniž by se velikost její změnila. Břemeno dá se tedy libovolně zvětšiti, jen když se dráha, kterou konati má, právě v té míře zase zmenší, aby součin obou tentýž ostával. Překoná-li tedy nějaká síla pákou neb jiným strojem větší břemeno než jest sama, shledáme, že síla právě v té míře větší dráhu vykonati musila, nežli břemeno bylo vykonalo, následovně, že i právě *v té míře také více času* k tomu potřebovala. Nebo nestačí-li velikost účinku jeho za sekundu t. 60 lbstp., upotřebí jich ještě jednou i vícekráte, až potřebě vyhoví. Strojem si zařídí člověk práci tak, aby mu delší čas potrvala, až se 60 lbstp. tak nahromadí, že se dané práci vyrovnává.

V tom sluší hledati příčiny, že stroje účinkem svým mnohdy takřka divy činí. Obdivujemeť se ohromným břemenům, která jsme byly zvedli, zapomínajíce při tom, že to práce delší doby jest. Zvedáme-li na př. cihly z místa na místo, nikomu nenapadne obdivovati se množství jejich po nějaké době. Zcela jinak to však vypadá, když jsme je strojem najednou zdvihli, kdyby to i tentýž, ano i delší čas bylo trvalo. Nepomohl nám stroj v práci, než učinil nám ji jen možnou, rozložil ji totiž na takový čas, ve kterém se účinek náš dané práci vyrovnává. Měl-liby na př. člověk hmotu 300 lb. těžkou od země 1′ vysoko zvednouti, nevykoná to pouhýma rukama, ačkoli to pro něho práce nemožná není. Jestiť totiž 300 lb. . 1′ = 300 lbstp., které by člověk v pěti sekundách vykonati mohl, jelikož 300 : 60 = 5 sekund. Podobně shledáme, žeby člověk i 1200 lb. zvednouti mohl 1′ vysoko, avšak až za 20 sekund, jelikož se tu práce člověka za jednu sekundu 60 lb. dvacetkráte požaduje, t. 1200 : 60 = 20. Jedná se tedy jen o to, aby se takové stroje zařídily, na kterých by člověk práci tuto 20 sekund konati mohl a nucen nebyl, jako když se to pouhýma rukama děje, takřka okamžením všecko vykonati. Z toho následuje, *že člověku pomocí stroje téměř každá práce možná jest, když mu jen, co potřebí, času ponecháno, aby ji konati mohl.* Nebo vždycky se dá účinek obyčejné lidské síly, t. 60 lp. tolikráte mysliti, aby velikosti jakékoli dané práce dosahovala. Záležíť však hlavně na tom, aby se stroj tak zařídil, aby od člověka za sekundu větší práci nepožadoval než 60 lbstp.

Nemožnou stala by se člověku práce tenkráte, když by ji v kratší době vykonati měl, než by toho svrchu zmíněné porovnání sekundového výsledku jeho s danou prací požadovalo. Nemožnou se mu stává také tenkráte, když se žádný umělý stroj tak zařídíti nedá, aby se jím práce tato, jak pro sílu jeho potřebí, na čas rozděliti mohla. Z toho následuje, že i kůň, vůl a vůbec i každá jiná síla jakoukoli danou práci vykonati může, když se jí k tomu stroj přiměřeně zařídí. Veliká výhoda strojů záleží následovně v tom, že se jimi každá určitá daná práce síle přiměřeně na čas rozložiti dá.

2. *Strojem se dá působiti, aby břemeno žádoucí dráhu konalo, následovně i takovou rychlostí se pohybovalo, kteráby se upotřebenou silou uskutečniti nedala.* Tak víme, že člověk při stálé práci toliko rychlost 2·5′ upotřebiti může. Menší rychlost není tělu jeho tak příhodná aniž v práci tak vydatná. Totéž platí i o rychlosti větší, která se od člověka bez strojů naprosto ani uskutečniti nedá. Několika pákami, ozubenými hřídeli aneb kotouči, které se řemeny spojují, dá se i sebe větší rychlost uskutečniti, tak jako se naopak tímž spůsobem aneb šrouby tak pozvolného pohybování docíliti může, že se i oku našemu nepatrným stává. Jednou za den vytáhneme závaží aneb natáhneme zpruhu hodin našich; a ejhle, strojem se rozkládá tato práce naše tak, že k pohybování všech částek jeho na 24 hodin vystačuje. Je-li to závaží 25 lb. těžké a 20′ vysoko, jest to 20. 25 = 500 lbstp., které stroj k pohybování za den spotřebuje. Za hodinu 500 : 24 = 21 lbstp. Považíme-li, že člověk, kůň, vůl, ano že i každá jiná přírodní síla, jako voda, pára, vítr a j. jen nějakou určitou rychlostí a velikostí působí, že však ale výkony našeho praktického života vždy nějakou *zvláštní velikost síly a rychlosti* požadují, které mnohdy daleko větší anebo i menší jsou, než se nám v upotřebené síle naskytují, vysvítá jasně potřeba, aby tu takových prostředků, náčiní a vůbec strojů bylo, jimiž by se všecko práci přiměřovalo; odtud i výhodnost a důležitost strojů, které to činí.

3. *Některé předměty poskytují síle působiště příliš malé, jiné zase jsou příliš velké, tak že se jen strojem pohybovati dají aneb strojem pohybovati musí, aby se většího výsledku docílilo.* Je-li na př. síla větší než břemeno, dá se práce strojem rychleji vykonati, nežby jinak možno bylo, kdybychom jen holýma rukama pracovati chtěli. Jaký to rozdíl, když se na př. jablka přenášeti mají, děje-li se to pouhýma rukama, košíky aneb vozíkem? Strojí se stává možno, že člověk střední svou silou působiti a tak většího účinku dosáhnouti může. Tam, kde síla jednoho člověka nestačí, možno to strojem tak zaříditi, aby více lidí zároveň působiti a tedy v určité době uskutečniti mohlo, co by jednomu možno nebylo. Počet lidí dá se stroji v práci

tak zmnožiti, že žádné tak velké práce nestává, kterou by lidé stroji vykonati nemohli; 60 lbstp. dá se totiž tak zmnožiti, jak to práce žádá.

Stroje poskytují také možnost, aby se práce, když lehká jest, dosti rychle konati mohla, jakož se to stává pomocí pružných per *). Jiný příklad nám dávají *šicí stroje;* nebo považíme-li, že se vždy celá nit švem protáhnouti, ruka tedy *na prázdno* vždy tam a sem dráhou tak velkou pohybovati musí, jak nit dlouhá jest, vysvítá, jak mnoho při této lehké práci člověk na čase i na síle ztrácí. Stroj, který se působením nohou na nášlapku pohybuje, nečiní žádných zbytečných drah, z čehož následuje, že se jím v tétéž době mnohem více švů, tedy i více práce vykonati musí. To nám ukazuje i naše obyčejné dělení. Jaká by to byla práce u mnohých látek bez *klínu* a *páky*, t. j. bez nože, bez nůžek, bez sekery, pilníka, pily? Naše obyčejná práce nedá se mnohdy bez rozličných nástrojů ani konati, a ta, která se bez nástrojů konati dá, jest velmi obmezená a nedokonalá. Jak bychom vrtali, tesali, řezali, jezdili, ano i jedli? Jak by bylo možno bývalo, mnohé tak velikolepé výtvory umění lidského ostaviti na památku všem budoucím pokolením světa? Ohromné budovy, jehlance, sochy, obelisky a j. hlásají umění minulých dob.

I tam, kdeby práce bez zvláštních strojů možná byla, *učinily ji stroje pravidelnou a u vysokém stupni dokonalou*, což často ruka lidská i při nejlepší vůli vykonati nedovede. Známoť jest na př. zařízení kol u strojů, z nichž jedno do druhého zuby svými *tenkráte* a *tak rychle* zasahuje, jak to potřeba žádá. Diviti se konečně musíme pravidelnosti a umělosti, jakou se dělicím strojem i nejmenší zoubky koleček hodinek našich vyznačují a rejsují. Kde možno rukou naší na přeslici tak pravidelné, tak stejné, tak teninké nitky a tak mnoho jich upříst, jako to činí parní přádelny naše? Odtud i ta dokonalost a láce tkanin. Stroje odnímají práci rukoum našim, aby to, co *libovůli a náhodě ruky lidské ponecháno bylo, svou zákonitostí zdokonalovaly.*

*) Více o podobných věcech v *Naukách technických* od Dra. Antonína Majera. *O spojivosti.* V Praze 1855.

4. *Výhodnost strojů jest zvláště tou okolností nápadná, že se jimi sil přírodních použiti dá.* Vítr žene koráby, pohybuje mlýny, voda otáčí kola k účelům nejrozmanitějším, a co koná konečně pára? — Ona kuje nejhrubší železo, válcuje plech a silné kovové tyče, táhne drát, přede nejtenší nitky a dělá nejjemnější tkaniny. Pára také valchuje, ždímá, pere, šije, vrtá, mele, řeže, ano může se říci, že hnedle nebude ani průmyslného zaměstnání, kteréby se parou z části vykonávati nedalo. Krátce může se tvrditi, že člověk přírodním silám téměř jen předkládá práci, kterou jim pomocí strojů hotoviti jest. Hotové pak jim člověk odnímá a obrací k potřebě, k rozkoši a pohodlí svému. Všecky tyto divy věku našeho koná *příroda sama,* při čemž jen třeba, aby ji člověk stroji řídil a přiměřeným způsobem práci předkládal. Síla zvířecí se unavuje, příroda však stále působí a nevyčerpává nikdy sil svých. Kolik lidí by bylo na př. potřebí, aby to konali, co konává v hornaté krajině obyčejný potok? —

128. Z toho ze všeho vysvítá, že stroje sice sílu dle potřeby přenášejí, řídí, rozdělují a jinak účinky její přiměřují potřebám našim, *že však žádnou sílu utvořiti a ze sebe vyvoditi nemohou.* Všecky stroje bez rozdílu, počínajíc od hole a tyče, kterou divochové místo pluhu půdu rozrývají a kypří, až ke stroji nejumělejšímu, řídí se zákonem přírody, *že práce, kterou koná upotřebená síla, aby stroj pohybovala, právě tak velká jest jako práce, kterou stroj uskutečňuje,* ačkoli každá jiného druhu jest, tedy jinak vypadá. Právě zmíněná okolnost, *že žádný stroj práce nepřidělá, než že ji vždy jen tolik poskytuje, co ji upotřebená síla na něm byla vykonala, jest základem veškerého strojnictví.* Pravost tohoto zákona vždycky nám ukáže, zdali nějaká práce vůbec možná jest. Tak nám lze tvrditi, že člověk práci konati může, která 60 lbstp. za sekundu nepřesahuje, ať jest pak již rozdělena jak chce; tedy na př. břemeno 1 lb. a rychlost 60′, břemeno 0·1 lb. a rychlost 600′ aneb naopak břemeno 60 lb. a rychlost 1′, břemeno 600 lb. a rychlost 0·1′, 6000 lb. a 0.01′ a t. d. Také se dá tvrditi, že

kůň práci konati může, která 400 lbstp., vůl, která 250 lbstp. nepřesahuje a t. d., když se stroj síle přiměřeně zařídí.

Zde jest první začátek v hotovení strojů, poněvadž velikost práce ustanovuje, zdali ji člověk, kůň, síla vodní, na př. nějakého potoka a j. konati může, aneb kolik sil koňských k tomu potřebí jest, aby se parní stroj dle toho zhotovil. Tak se někdy stává, že se ve stroji příčina hledá, proč se mnohá práce strojem konati nemůže, ačkoli vlastně v něm neleží a jen odtud pochodí, že upotřebená síla k tomu dostatečná není. Kdyby se na př. žádalo, aby se z hloubky 4 stop každou sekundou vědro vody vážiti mělo, tedy práce 101.4 = 404 lbstp. vykonávala, rozumí se samo sebou, že ji jeden člověk nevykoná, třeba by k tomu stroj sebe výhodnější měl. Počet ukazuje, že to již práce jednoho koně jest, k čemuž by se ovšem také dvou volů aneb 7 lidí upotřebiti mohlo. Vezmeme-li 4 stoupy (33.), z nichž každá 200 lb. váží a za minutu se 10kráte 15″ vysoko zvednouti má, jest to práce 200.1¼.4.10 = 10000 lbstp. Jelikož člověk za minutu 60.60 = 3600 lbstp. vykonati může, vysvítá, žeby k tomu třech lidí potřebí bylo. K této práci by ovšem dostačoval vůl, jehož účinek za minutu 60.250 lb. = 15000 lbstp. obnáší, jakož i kůň, když by ji na přiměřeném stroji konati mohl. Naopak mohli bychom na př. snadno vypočísti, mnoho-li vody by asi člověk, mnoho-li vůl a kůň za sekundu, za minutu aneb za hodinu a t. d. z jisté hloubi vyčerpati mohl. Jelikož účinek člověka za sekundu 60 lbstp. obnáší, musí se uložená práce tak rozděliti, aby jeden činitel její na hloubku, tedy i na dráhu na př. 10′, druhý však t. 6 lb. na sílu přišel, což by, jak známo *), za sekundu asi 9½ žejdlíků obnášelo. Účinek vola, t. 250 lbstp., rozpadl by se na 10′ a 25 lb.; vyvážil by tedy za sekundu asi 10 mázů z též hloubky, kdežto by se od koně asi 17 mázů očekávati dalo. Přede vším jest zapotřebí věděti, jaká práce se konati má, pak jaká síla nám po ruce jest, a tu teprv možno mysliti na stroje, jimiž by se to konati, a konečně na zařízení, jímž by se nejsnadněji a nejvíce práce vy-

*) Viz *Nauky technické. O spojivosti.* str. 13.

konati dalo. Ze všeho, co o strojích řečeno, jasně vysvítá, že jen málo vět potřebí jest, aby se stroje v podstatě své vysvětliti daly. Jsou-li tyto jedenkráte nalezeny, jest to pak věc toliko výmyslu geometrického, aby se nové a zase nové hotovily.

129. Namítá se otázka, zdali to již všecky stroje jsou, kterých k práci potřebováno bývá, jelikož alespoň na první pohled rozmanitost jejich příliš velkou, ano počet jich téměř nesčíslným se býti vidí. Bedlivým proskoumáním strojů se ukáže, že v podstatě ne více než *dvou* od sebe rozličných strojů stává. Jestiť to *páka* a *nakloněná plocha*, které skládají v rozličných případech, na rozličných místech, k rozličným účelům a u velmi rozmanitém spojení onu nepřehlednou a jednotlivcům nepostihlou rozmanitost těchto, bych tak řekl, silami oživených těles, vymyšlených pro potřebu, pohodlí a rozkoš lidskou. Nejsou to stroje samy a přírodní zákony, co do podstaty lidem od dávných časů již známé, než důmyslné sestavení a upotřebení jejich, aby nejrozmanitějším požadavkům vyhověly, co nás vždy podivením naplňuje. V pravdě žasnouti musíme nad uskutečněným a ve strojích oživeným ostrovtipem ducha lidského, který spůsobem často nejpodivnějším všecky přírodní síly ovládá a je obrací ku prospěchu svému. Možná-li se domýšleti, že i v ušlechtění srdce a vůbec v mravní dokonalosti člověčenstvo takých pokroků učinilo, jakých ve strojích každoročně to činí ostrovtip jeho, nejinak než diviti jest se nám, jak rychle a úsilně kráčí k vznešenému cíli svému, aby se totiž vždy podobnějším stalo *Tvůrci nejdokonalejšímu!*

Nutnost, potřeba, prospěch, pohodlí, ctižádost podávají si jako o závod ruce, aby vykořistily všecky poklady přírody. Co v posledních padesáti letech vykonáno bylo, předstihuje daleko všecko, co byl všecken ostatní věk dohromady vykonal, ačkoli lidé po všecky věky myslili a své práce konati musili. *Egyptanům*, kteří se od pradávných dob vzděláváním půdy zaměstnávali, připisuje se vynalezení pluhu, čímž nástroj podán byl, aby se ku kypření půdy síly volů použilo. Slavnosti a oběti, které kněží bohů jejich na vděčnou památku konávali, dostatečně dosvědčují, že vynález tento za božský dar považovali a důležitost

jeho náležitě oceňovali. Právě tímto způsobem došlo i na koně, aby vozy tahali, tak že se pak od této doby všecky věci mnohem snáze na vozech z místa na místo dovážely, než je dříve lidem a zvířatům nositi možno bylo. Ještě *Římanům* musili otroci obilí šlapati, které se pak na řešatech od otrub očišťovalo. Později povstaly vodní mlýny, ve kterých všecko toto voda koly vykonává. *Arabové* vynalezli v bezvodných krajinách svých větrní mlýny, které se za časů křižáckých válek až k nám dostaly. Vynález střelného prachu učinil převrat v umění vojenském. Pružná péra poskytla nám hodiny. Teprv novějšímu času bylo ponecháno, upotřebením *parní síly* dáti světu novou tvářnost. Tu povstaly železné dráhy, které celý svět sobě nad míru sbližují; tu povstaly stroje, které jednak svou ohromností takřka divy činí, jednak svým důvtipným sestavením nejumělejší a nejrozmanitější práce konají. Máme nyní parní vozy a lodě, parní mlaty, mlýny, pily, pumpy, stoupy, přádelny a jiné rozmanité dílny. A což bychom mohli ještě uváděti o *síle elektrické*, *magnetické* a j., kterých ještě veliká budoucnost očekává!

---

130. Abychom všecky tyto vymoženosti ducha v strojnictví náležitě ocenili, ohlédněme se také po časech dávno již minulých. — Co se *praktického strojnictví* týká, stávalo samouků po všecky věky jako až podnes; ano může se tvrditi, že hnedle ve všech nálezech skutečná praxis předcházela theorii. Lidé, kteří se praktickými nálezy vyznamenali, měli na větším díle jen povrchní známosti mathematické a utvořili teprv k hotovým nálezům svým ostrovtipem ducha a vytrvalostí svou theorii. Potřeba, důmysl a náhoda naučily člověčenstvo mnohým věcem. Tak jest známo, že lidé i v nejdálší dávnověkosti své strojnické dílny měli a že stroje i s jakousi obratností a dokonalostí zhotovovali, čemuž se tím více diviti jest, poněvadž jim theoretické zákony věcí těchto známy nebyly. Již na počátku našeho letopočtu uvádí *Vitruv* dosti důmyslné stroje, kterých se již od nepamětných dob užívalo, z čehož patrno jest, že se k zdvihání a pohybování velkých břemen téměř týchž strojů upotřebilo, kte-

rých se užívá nyní, jako kladkostrojů, vratidel, nakloněných ploch, jeřábů a p.

Jedná-li se nám o první počátky mechaniky, jest přirozená věc, že se musíme ohlížeti po *Řecku*, odkud veškerý vzdělanější svět po mnohá století svou učenost čerpal. V strojnictví nebyli však *Řekové*, kteří takřka přirozeným pudem smysl pro všecko krásné a velikolepé měli, tak šťastní jako v jiných věcech. Ačkoli se *filosofům* jejich ostrovtip ducha, bohatství myšlének a náhledů nijak upříti nedá, byly předce pokusy jejich o vysvětlování zákonů přírodních velmi nedostatečné. Snaha tato přivodila u nich pojmy *abstraktní*, temné a velmi neurčité, jako „*rychlost, tlak, síla, ráz, moment* a j.“, kterých se skutečnosti v žádnou souvislost neuváděli, aniž je této přiměřovali. Jak medle se takový všeobecný abstraktní pojem u nich objevil, snažili se všemožně, aby všestranně objasnili takové slovo duchem svým, nevšímajíce sobě toho, co se v skutečnosti slovem tímto vyznačovati mělo. Oni si nehleděli skutečnosti, aby pro ni přiměřených slov vynalezli a jí náhledy své řídili a tříbili, nýbrž rozumovali jen o *slovech* a myslili, že tím skutečnost vymudrují. Snažiliť se skutečnost tak předělati aneb alespoň tak pojímati, aby se vymudrovaným náhledům filosofů jejich přiměřovala. Domýšleli se, že pravá filosofie *jenom na vnitřní vzájemnosti a souvislosti slov obyčejné mluvy* spočívati musí, a proto zakládali a vyhledávali také moudrost svou jen v takovémto *slovíčkářství*. To bylo příčinou, že se staří filosofové jejich jen s nepatrnými výminkami k tak nejapnému a nešťastnému skoumání přírody zavésti dali. Nejlepší toho důkaz podává jejich největší filosof *Aristoteles* († 322 př. K. P.). Celý *vesmír* mu byl velikánským strojem, jenžto se skládá z kol, které se samy pohybují a do sebe zasahují. Účinky, které se takto vyvádějí, byly mu závislé od přirozenosti látky, z které se skládají. *Aristoteles* se o to nestaral, aby si ze skutečnosti odvodil *pojem klidu, pohybování, síly* a j., on blouznil *o kruhu* a jiných věcech, které učení jeho se skutečností v žádnou souhlasnost neuváděly. Při výkladu strojnických vět svých upozorňuje hlavně na to, že vždycky *jen kruh* pravým základem všech příčin podobných vý-

jevů jest. „Není *prý* to nic nerozumného, aby se z něčeho, což samo v sobě dosti podivuhodné jest, zase jiné podivuhodné věci odvozovaly. Nejpodivnější ze všeho jest *prý*, že se věci protivné v celek spojovati mohou. Skládáť se kruh z dvou částí, z klidného bodu a pohybující se čáry, které ve vnitřní podstatě své sobě zcela protivné jsou; kruh jest zároveň poddutý i vydutý, jde ku předu i k zadu a t. d., tak že se ani diviti nemůžeme, když z něho zase množství jiných podivných věcí povstává . . . .“

Z toho následuje, že se do časů *Aristotelových* pravý počátek mechaniky klásti nemůže, ačkoliv *Aristoteles* sám mnohé vlastnosti páky a j. znáti musil. Teprv *Archimed* byl vlastně prvním zakladatelem této vědy, který, jak se praví, s takovou naruživostí své geometrii a mechanice oddán byl, že při tom i na obyčejné potřeby, jídlo, pití a j. zapomínal, tak že jej sluha vždy na to pamatovati musil. Všecky stroje, které byl zhotovil, byly mu více jen hračkou měřickou, věcí mimotní, jelikož jej jen král *Hiero* k tomu přiměl, aby také něco ze svého abstraktního umění uvedl do života skutečného, aby také obecenstvo výhodnost známostí a vědomostí jeho seznalo. Zvláště výhodné ukázalo se to býti při obraně vlasti jeho, když se nástupce *Hierona* s *Římany* rozešel, kteří této příležitosti použili, aby se *Sicilie* zmocniti mohli. Po několika šťastných obratech zvítězili *Římané* u *Syrakusy*. Obyvatelé byli kvapem nepřítele a slávou zbraní římských polekáni. *Archimed* však posilnil ducha a vzbudil udatnost jejich takým spůsobem, jak toho historie jen řídké příklady podává. Jalť se se vší horlivostí stavěti rozličné velmi účinlivé stroje, které rušily všecko úsilí nepřátelské, tak že vůdce jejich *Marcel* město obkličovati se jal, vida nemožnost dobýti ho útokem. Když konečně město nepřátelské přesile déle vzdorovati nemohlo, nalezl vedravší se tam sprostý římský voják *Archimeda* pohříženého v geometrickou práci, řkoucího: „*Nerušiž mi kruhů mých*,“ čemuž surovec tento ovšem nerozuměl a vzdor zákazu velitele svého *Archimeda* probodl. *Tak skončil* (212. před K. P.) *tento důmyslný mathematik svá studia horlivou obranou své milé vlasti!*

Později dosáhl *Heron* svým strojnictvím slavného jména. O

spojoval jednoduché stroje rozličným spůsobem, a spojováním ozubených kol sestavoval již stroje na spůsob našich vozních zvedáků.

131. Učení řecké udrželo se ještě dlouho po *Řecích*, s tím však rozdílem, že se náhledy lidské od skutečnosti vždy více odchylovaly a vždy temnějšími a zamotanějšími se stávaly, poněvadž nikdo určitě na *sílu* co původ pohybování nepoukázal a nerozeznával to, co pohybování uskutečňuje, od toho, čím se udržuje. Odtud pocházejí mnohé dosti podivné věci, které staří tak živě popisovali a jaké se až do novějších dob v ústech lidu sem tam udržely. Tak popisuje známý *Plinius* (hist. nat. XXXII. 7.) se vší opravdivostí a velmi živě jednu báječnou mořskou rybu. Začínať svou deklamací o tomto divu asi následovně: „Co jest asi silnější než moře a větry? Která budova jest asi větší než koráb? A předce jej může malá ryba *Echineis* v běhu udržeti, i kdyby větry touž cestou šly. Ať větrové foukají a vlny burácejí, tento malý tvor se zmocní vztečlosti jejich a zadrží koráb, kdyby jej i žádné řetězy a žádná kotvice udržeti nemohla. A to může ono zvířátko, ne snad proto, že se mnoho namáhá, než jen že se na koráb zavěsí. Ó politování hodná pošetilosti lidská, když lidé v korábu co vězni držáni býti mohou od ryby, jejíž délka ani půl stopy neobnáší! — Takové zvíře drželo v bitvě u *Aktium* hlavní koráb, tak že se *Antonius* nucena viděl, na jinou loď přestoupiti. I za našich dnů uchopilo se takové zvíře korábu císaře *Kaja*, když z *Astury* do *Antium* jeti chtěl. Všecko ustrnulo, když koráb tento jako zeď státi ostal, mezitím co se ostatní loďstvo dále pohybovalo. Avšak podivení toto netrvalo dlouho, poněvadž někteří plavci do vody skočili a rybu tuto na vesle nalezli. Císař se velmi rozmrzel, když zpozoroval, že se takové zvíře zákonům jeho protiviti mohlo, které se předce od 400 veslařů plnily. Když bylo do korábu přinešeno, podobalo se kusu olova a nemělo více žádné síly ....“ Kdyby byli *Římané* jen velmi povrchních známostí o mechanice měli, byli by uznali, že ryba takové síle korábu vzdorovati nemůže, když někde nějakė pevné podpory nemá, a že, kdyby se byla korábu pevně přichytila, musila by se tam pohybovati, kam by koráb šel. Příklad tento jasně uka-

zuje, jak to tehdáž s mechanikou vypadalo, když proslavený tento *Říman* († 79. po n. K. P.) takto mluviti mohl!

Nyní nastal temný středověk, od kterého se žádných pokroků očekávati nedalo. Hádky slovíčkářské, které v Řecku svůj původ vzaly, přicházely vždy více do mody *). Studium skutečnosti se zanedbávalo, aby se o slovíčka hádky vésti mohly. I tento lesk *dialektiky* mizel vždy více *barbarstvím* tehdejší doby. Všeobecná zmatenost nedopouštěla, aby se zmíněné řecké pojmy nějak zpytováním skutečnosti byly zdokonalily; ano podobáť se, že tehdejší věk naskrze ani schopnosti k něčemu takovému neměl. Tím úsilněji držel se proto věk tento náhledů řeckých, které z části téměř zbožňoval. Jak těžko bylo nějaký pokrok udělati, vysvítá již z toho, jak pevně *Aristoteles* se svými náhledy stál. Všecko se drželo tak tvrdošijně soustavy jeho se všemi články jejími, že se konečně celý tehdejší učený svět domýšlel, že to ani jinak býti *nemůže*, *ba ani jinak býti nesmí!* — Úcta, vážnost a zbožňování spisů jeho rostla vždy více, tak že sláva jeho v desátém a jedenáctém století tím svého vrchole dosáhla, že všickni professorové při nastoupení úřadu svého přisáhati musili, že se v přednáškách svých ani od *písma svatého* ani od *spisů Aristotelových nikdy neodchýlí.* Ještě v šestnáctém století bylo nebezpečno neuznávati důstojnost Aristotelovu anebo protiviti se některým větám jeho. Tak se na př. opovážil *Petrus Ramus* na vysokých školách Pařížských prohlásiti, že některé věty *Aristotelovy* falešné jsou. Následek této domnělé ohavnosti byla všeobecná vzpoura ve škole, ano i v celém městě. I *parlament Pařížský* ujal se *Aristotela!* — *Ramus* byl z úřadu propuštěn, král stíhal jeho spisy a on sám se zachránil jen rychlým útěkem! Když po několika letech v *Paříži* nakažlivé nemoce povstaly, domýšlel se, že se v této všeobecné sklíčenosti ducha na něj již snad zapomnělo. Opustil tedy svou skrýš a vrátil se na své učitelské místo. On se nyní všemožně střehl, aby jmeno *Aristoteles* vícekráte ani nevyslovil.

*) Viz *Nauky technické. O spojivosti*, str. 181. *.

Když však jedenkráte v přednášce své radil, aby se *qu* jako *k* vyslovovalo, protože prý někde nalezl, že staří Římané *kamkam* a ne *quamquam* říkali, vzbudila se celá vzteklost nepřátel jeho, a tento zpropadený protivník *Aristotelův* byl kamenován, holemi ze své učitelské stolice zahnán, i nesměl se vícekráte ani na ulici ukázati. Vzdor vší opatrnosti byl předce brzy na to od jednoho takového zákeřnického filosofa úkladně zavražděn († 1572.). Netřeba ani podotýkati, že byl tedy *Aristoteles* filosof, který měl na člověčenstvo větší vliv než každý jiný filosof, ano než každý jiný spisovatel vůbec!

Tolik k náležitému oceňování nynější známosti přírodních věd. —

Zkušeností ustanovená práce.

Návodem svrchu uvedeným dá se velikost práce snadno ustanoviti; než k tomu potřebí již skutečného vykonávání práce. Má-li se však napřed ustanoviti, mnoho-li se jí asi tím neb jiným spůsobem vykoná, musí již hotová zkušenost po ruce býti, aby se počtu za základ položiti mohla. V tom ohledu mohou přede vším dobré služby konati zkušenosti *mechaniků francouzských*, z nichž některé uvádíme. Poněvadž udaje tyto z míry francouzské na naši převedeny jsou, nesouhlasí vždy dokona všecky k sobě náležející činitelé jejich. Proč se jen 8, ano i méně hodin na denní práci počítá, již nahoře (36.) vysvětleno.

Množství vážením vody vykonané práce za jeden den, počítá-li se na 8 hodin.

	librostop.
Člověk, nabírá-li vodu lehkým vědrem, koná práci	260000
„ „ „ obyčejným soufem, koná práci	271000
„ „ „ váhou ze studny 6 až 10′ hluboké, koná práci	339000
„ „ „ „ „ „ 10 „ 16′ „ „ „	395000
„ váží-li vodu provazem a kladkou, koná práci	435000
„ „ „ klikou se setrvačníkem, „ „	960000
„ „ „ vědrem na žentouru, „ „	1,130000
Kůň, „ „ „ „ „ „ „	6,586000
Vůl, „ „ „ „ „ „ „	6,327000

Usilí, jakým se v některých případech pracuje.

Způsob, jakým upotřebené síly pracují.	střední velikost břemena č. síly	rychlost v práci.	vykonaná práce za vteřinu.	práce se konala denně	množství vykonané práce za jeden den.
	liber	stop	librostop	hodin	librostop
Zvedání břemen kolmo do výšky.					
Stoupá-li člověk po schodech aneb po mírné stráni do výšky, nic s sebou nenesa	116	0·48	55·7	8	1,600000
Zvedá-li muž rukou břemena do výšky	35	0·54	19	6	410000
Nosí-li břemeno po schodech aneb po lešení nahoru, a chodí-li s prázdným dolů	116	0·13	14·7	6	317000
Zvedá-li zem lopatou na střední výši 5′	4·8	1·26	6·1	10	219000
Vozí-li břemeno na kolci aneb na trakaři nahoru a jezdí-li s prázdným dolů, svah $^1/_{12}$	107	0·06	6·8	10	244000
Zvedají-li čtyři berana, působí každý	25	1·13	28·25	10	1,017000
Působnost sil na strojích.					
Člověk pracuje-li na páce	14·2	2·37	33·9	8	976000
„ zvedá-li kladkou břemeno do výšky	32	0·63	20·4	6	439000
„ pracuje-li na klice	14·2	2·37	33·7	8	970000
„ „ „ žentouru	21·1	1·9	40	8	1,155000
„ na kole šlapacím aneb s příčlemi vodorovně s osou	107	0·48	50·8	8	1,464000
„ na kole sklonitém, při sklonu menším než 24°	21·4	2·21	47·5	8	1,366000
„ táhne-li břemeno svisno dolů aneb strká-li je nahoru	8·9	3·48	31	8	894000
Kůň táhne-li obyčejný vůz krokem	125	2·85	355·8	10	12,811000
„ otáčí-li žentour krokem	80	2·85	228·8	8	6,589000
„ „ „ klusem	53·6	6·33	338·9	4·5	5,490000
Vůl otáčí-li žentour	116	1·9	220·3	8	6,315000
Mezek „ „	53·6	2·85	152·5	8	4,392000
Osel „ „	25	2·53	63·2	8	1,822000

Množství vykonané práce.

Způsob, jakým se práce konala.	střední velikost břemena.	rychlost břemena v prácl.	vykonaná práce za vteřinu.	práce se konala denně	množství vykonané práce za jeden den.
	liber	stop	librostop	hodin	librostop
Břemeno se pohybuje vodorovně.					
Člověk působí pouhýma rukama bez strojů	25	2·5	62·5	8	1,800000
Člověk chůzí na rovině bez břemena...	116	4·74	551	10	19,836000
Cestující s vukem na zádech.....	71	2·37	169	7	4,233600
Pracovník, nosí-li břemeno na zádech a chodí zpátky s prázdným.....	116	1·58	183	6	3,952800
Pracovník, nosí-li břemeno na nosidkách a chodí zpátky s prázdným.....	89	1·04	93	10	3,348000
Pracovník, táhne- aneb strká-li břemeno ve směru vodorovném.....	21·4	1·9	40·6	8	1,171000
Pracovník, rozváží-li břemeno na kolci aneb na trakaři a jezdí zpátky s prázdným.....	107	1·58	169	10	6,084000
Pracovník, činí-li totéž na káře s dvěma kolama.....	178	1·58	281	10	10,116000
Havíř, na železné kolejí s malým vozíkem	267	1·74	464	8	13,373000
„ „ „ „ s velkým „	710	0·87	620	8	17,860000
Kůň působí bez strojů.....	100	4	400	8	11,520000
Kůň, táhne-li vůz klusem.....	625	6·96	4350	4·5	70,470000
„ rozváží-li břemeno na káře a jezdí s prázdným zpátky.....	1250	1·9	2375	10	85,500000
„ tahá-li káru stále s nákladem.....	1250	3·48	4350	10	156,600000
„ s nákladem na hřbetě krokem...	214	3·48	745	10	26,820000
„ „ „ „ klusem ...	142	6·96	988	7	23,897600
Vůl působí bez strojů.....	100	2·5	250	8	7,200000
Osel „ „ „	60	2·5	150	8	4,320000

OBSAH.

Str.

Předmluva.

Pojem práce 1

Dráha.

A. Jakost dráhy 3

B. Rychlost 4

Síla.

A. Stanovení síly 11

B. Účinek síly 18

C. Skládání sil působících na tentýž bod 24

D. Skládání sil působících na body rozličné 50

Stanovení práce 68

Rovnováha.

A. Rovnováha sil vůbec 87

B. Rovnováha na strojích 107

A. Stroje páky.

1. Páka 107

2. Kladka 150

3. Kolo na hřídeli 166

B. Stroje nakloněné plochy.

1. Nakloněná plocha 211

2. Klín 228

3. Šroub 234

O strojích vůbec 261

Zkušeností ustanovená práce 277